



**Escola Superior d'Agricultura
de Barcelona**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Anàlisi comparativa entre les plantacions de pi pinyer (*Pinus pinea* L.) de llavor i les empeltades

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria Agrícola

Autor: Guillem Vives Ortiz
Tutora en empresa: Neus Aletà Soler
Tutora acadèmica: Maite Mas i Serra
Castelldefels, 13 de juny de 2020

Agraïments

Vull agrair a les tutores del treball Maite Mas i Neus Aletà tot el seu temps, paciència, dedicació i ajuda que m'han donat per a realitzar aquest treball. Tota la seva orientació, les seves correccions i els seu ensenyament han estat imprescindibles per a redactar el treball. M'han despertat molt l'interès per la fructicultura i pel coneixement tècnic per a millorar l'aprofitament dels arbres.

A l'*Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA)* per la seva acollida a través del grup Agroforestal de Caldes de Montbui. Sobretot agrair als tècnics i treballadors del grup Anna Teixidó, Joan Abel, Francisco Pérez i Raúl de la Mata, per tota la seva ajuda, paciència i acollida.

Al professor A.M.C Verdú pel seu interès i els seus consells amb el treball.

Als meus pares i al meu germà, per animar-me i acompanyar-me sempre.

Moltes gràcies a tots!

Resum

El pi pinyer (*Pinus pinea* L.) és una espècie arbòria originària de la regió mediterrània, molt apreciada per la seva llavor comestible: el pinyó. Els pinyons són productes molt ben valorats en gastronomia pel seu sabor i la seva qualitat nutricional i organolèptica. Des de l'antiguitat s'han consumit en nombrosos plats i s'ha afavorit la seva expansió. Actualment la seva demanda a nivell global està en augment i els preus pagats per aquesta llavor són molt elevats.

Tot i aquest vincle amb l'ésser humà al llarg de la història, el pi pinyer és un arbre que no s'ha domesticat, com si va ocórrer amb altres arbres productors de fruita seca. Avui en dia la major part de la producció de pinyons encara té lloc als boscos. Només en les darreres dècades s'han fet esforços per domesticar l'espècie, a través de conèixer el comportament d'aquest arbre, els factors que determinen la seva producció, les tècniques que cal aplicar per maximitzar la seva fructificació i la selecció genètica dels individus amb més i millor producció.

El present treball parteix d'aquest context d'investigació del pi pinyer per a poder gestionar-lo des d'una manera fruïtera, semblant a les tècniques de cultiu dels altres arbres productors de fruita seca. El treball es centra en el tipus de material vegetal de reproducció del pi pinyer: les llavors i els empelts. Aquestes són dos maneres de generar noves plantacions i s'analitzarà com són aquests materials i quins avantatges i inconvenients presenten. Doncs, l'objectiu d'aquest treball és comparar les plantacions de pi pinyer de llavor i les empeltades.

Tota la informació ha estat recollida de publicacions científiques i divulgatives sobre el pi pinyer i el seu cultiu, així com tota la informació de primera mà que les tutores del treball han aportat al seu autor.

També es parla de quins són els reptes pel futur d'aquesta espècie, ja sigui en plantacions intensives o en boscos, i sobre com el canvi climàtic afectarà la seva viabilitat productiva.

Al final del treball es presenta una proposta concreta de plantació de pi pinyer amb les decisions que recomana l'autor, segons la informació que hi ha exposada al treball. S'ha optat per un sistema agroforestal, que combini diferents espècies productores a la mateixa parcel·la i n'augmentin el benefici econòmic i mediambiental. Tenint en compte els dos mètodes reproductius explicats, convé decantar-se per l'ús de l'empelt per a tenir plantacions altament productives i amb producció precoç. Els arbres de llavor són més barats i senzills d'aconseguir, però la seva producció de pinyons és menor i triga més anys en iniciar-la. Els arbres empeltats també tenen el gran avantatge de poder utilitzar clons altament productius i patrons adequats a les condicions edafològiques del terreny.

Paraules clau: Acícula, creixement, estròbil, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, pinyons, producció

Resumen

El pino piñonero (*Pinus pinea* L.) es una especie arbórea originaria de la región mediterránea, muy apreciada por su semilla comestible: el piñón. Los piñones son productos muy bien valorados en gastronomía por su sabor y su calidad nutricional y organoléptica. Desde la antigüedad se han consumido en numerosos platos y se ha favorecido su expansión. Actualmente su demanda a nivel global está en aumento y los precios pagados por esta semilla son muy elevados.

Aunque exista este vínculo con el ser humano a lo largo de la historia, el pino piñonero es un árbol que no se ha domesticado, como sí ocurrió con otros árboles productores de frutos secos. Hoy en día la mayor parte de la producción de piñones todavía tiene lugar en los bosques. Solo en las últimas décadas se han hecho esfuerzos para domesticar la especie, a través de conocer el comportamiento de este árbol, los factores que determinan su producción, las técnicas que hay que aplicar para maximizar su fructificación y la selección genética de los individuos con más y mejor producción.

El presente trabajo parte de este contexto de investigación del pino piñonero para poder gestionarlo desde una manera frutal, parecida a las técnicas de cultivo de los otros árboles productores de frutos secos. El trabajo se centra en el tipo de material vegetal de reproducción del pino piñonero: las semillas y los injertos. Estas son dos maneras de generar nuevas plantaciones y se analizará cómo son estos materiales y qué ventajas e inconvenientes presentan. Pues, el objetivo de este trabajo es comparar las plantaciones de pino piñonero de semilla y las injertadas.

Toda la información ha sido recogida de publicaciones científicas y divulgativas sobre el pino piñonero y su cultivo, así como toda la información de primera mano que las tutoras del trabajo han aportado a su autor.

También se habla de cuáles son los retos para el futuro de esta especie, ya sea en plantaciones intensivas o en bosques, y sobre como el cambio climático afectará su viabilidad productiva.

Al final del trabajo se presenta una propuesta concreta de plantación de pino piñonero con las decisiones que recomienda el autor, según la información que hay expuesta en el trabajo. Se ha optado por un sistema agroforestal, que combine diferentes especies productoras en la misma parcela y aumenten el beneficio económico y medioambiental. Teniendo en cuenta los dos métodos reproductivos explicados, conviene decantarse por el uso del injerto para tener plantaciones altamente productivas y con producciones precoces. Los árboles de semilla son más baratos y sencillos de conseguir, pero su producción de piñón es menor y tarda más años en iniciarla. Los árboles injertados también tienen la gran ventaja de poder utilizar clones altamente productivos y patrones adecuados a las condiciones edafológicas del terreno.

Palabras clave: Acícula, crecimiento, estróbilo, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, piñones, producción

Abstract

The stone pine (*Pinus pinea* L.) is a tree species native to the Mediterranean region, much appreciated for its edible seed: the pine nut. Pine nuts are highly valued products in gastronomy for their taste and nutritional and organoleptic quality. It has been consumed in many dishes since ancient times and has been encouraged to expand. Its global demand is currently on the rise and the prices paid for this seed are very high.

Despite this link to humans throughout history, the stone pine is a tree that has not been domesticated, as is the case with other nuts-producing trees. Today most of the production of pine nuts still takes place in the forests. Only in recent decades have efforts been made to domesticate the species, through knowing the behaviour of this tree, the factors that determine its production, the techniques that have to be applied to maximize its fruiting and the genetic selection of the individuals with more and better production.

The present work is based on the research context of the stone pine in order to be able to manage it in a fruitful way, similar to the cultivation techniques of other nuts-producing trees. The work focuses on the type of plant reproductive material of stone pine: seeds and grafts. These are two ways to generate new plantations and will be analysed what these materials are and what their advantages and disadvantages are. Therefore, the aim of this study is to compare plantations that come from seed and graft.

All the information has been collected from scientific and informative publications on the stone pine and its cultivation, as well as all the first-hand information that the mentors of the work have provided to its author.

There is also talk about the challenges for the future of this species, whether in intensive plantations or forests, and how climate change will affect its productive viability.

At the end of the work, a specific proposal for the planting of stone pine is presented with the decisions recommended by the author, according to the information presented in the work. An agroforestry system has been chosen, which combines different producing species on the same plot and increases its economic and environmental benefit. Considering the two reproductive methods explained, it is advisable to opt for the use of the graft to have highly productive plantations with early production. Seed trees are cheaper and easier to obtain, but their production of pine nuts is lower and takes longer to start. Grafted trees also have the great advantage of being able to use highly productive clones and rootstock appropriate to the soil conditions of the land.

Key words: Needle, growth, strobilus, *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, pine nuts, production

Índex

Índex de figures	7
1. Introducció	8
1.1. Situació actual de la producció de pinyons a nivell mundial	8
1.2. El pi pinyer, una espècie que just comença a domesticar-se.....	9
1.3. El mercat dels pinyons	10
2. Objectius	11
3. Descripció de l'espècie	12
3.1. Descripció botànica	12
3.2. Distribució	14
3.3. Factors que afecten la producció	16
3.3.1. Temperatura.....	17
3.3.2. Reg.....	17
3.3.3. Podes i esclarissades	18
3.3.4. Maneig del sòl i fertilització	19
3.3.5. Plagues i malalties	20
3.4. Millora genètica.....	21
3.5. Sistemes agroforestals	23
4. Plantacions a partir de llavor.....	24
4.1. En què consisteix	24
4.2. Avantatges.....	26
4.3. Inconvenients	27
5. Plantacions a partir d'arbres empeltats	27
5.1. En què consisteix	27
5.2. La rellevància del patró o porta-empelt.....	31
5.2.1. Empelts homoblàstics	31
5.2.2. Empelts heteroblàstics	32
5.3. Avantatges.....	33
5.4. Inconvenients	35
6. El futur de les plantacions de pi pinyer	35
6.1. Cap a on ens dirigim	35
6.2. L'efecte del canvi climàtic	36
7. Proposta de plantació	37
8. Conclusions	41
9. Bibliografia	42

Índex de figures

Figura 1: Pinya i pinyons amb testa (esquerra) i pinyons sense testa (dreta). Font: (“The Greenss Shop company,” 2020; “The Original Garden,” 2020).....	8
Figura 2: Panellets, dolç típic de Catalunya (esquerra) i amanida amb pinyons (dreta). Font: (iStock, 2019; Sanfilippo, 2020).....	10
Figura 3: Exemplar juvenil (esquerra) i adult de pi pinyer (dreta). Font: (“Van den Berk Viveros,” 2020).....	12
Figura 4: Fenologia reproductiva del pi pinyer. Font: (Valdivieso et al. 2017).....	14
Figura 5: Distribució actual de <i>P. pinea</i> a la conca mediterrània Font: (Fady et al., 2008).....	15
Figura 6: Producció de pinya acumulada per arbre (esquerra) i per hectàrea (dreta), segons el marc de plantació. Font: (Mutke et al., 2011).....	19
Figura 7: Danys en pinyes provocats per <i>Leptoglossus occidentalis</i> (esquerra) i un exemplar adult de l'insecte (dreta). Font: (Loewe i Delard, 2012).....	21
Figura 8: Plàntules de <i>P. pinea</i> de 27 dies (esquerra), 41 (centre) i 93 (dreta) des de la seva sembra. Font: (Loewe i Delard, 2012).....	25
Figura 9: Empelt per substitució de la guia terminal en pi pinyer (esquerra). El punt d'unió segueix visible quan l'arbre és adult (dreta). Font: (Guadaño i Mutke, 2016).....	29
Figura 10: Producció anual de pinya segons tres escenaris possibles en pi pinyer amb empelt homoblàstic. Font: (Mutke et al., 2000).....	30
Figura 11: Series temporals de producció de pinya en parcel·les empeltades (empelts homoblàstics) en diferents assajos espanyols. Font: (Mutke et al., 2000).....	32
Figura 12: Comparació de l'alçada i la forma de la capçada entre pi pinyer empeltat (esquerra) i de llavor (dreta), als 13 anys d'edat i marc de 6 x 6 m. Font: (Guadaño i Mutke, 2016).....	34
Figura 13: Diagrama ombrotèrmic i evapotranspiració de referència de l'estació agroclimàtica de Dosrius, entre 2015-2019. Font: elaboració pròpia a partir de dades de (“RuralCat,” 2020)....	38
Figura 14: Exemple de plantació de pi pinyer empeltat en marcs de 6 x 6 m, de 10 anys d'edat, situada a Caldes de Montbui. Font: (de la Mata et al., 2019)	40

1. Introducció

1.1. Situació actual de la producció de pinyons a nivell mundial

Tot i l'interès històric pels pinyons, el pi pinyer roman com un arbre forestal i mai s'ha utilitzat en plantacions cultivades. Tan sols en les darreres dècades alguns països mediterranis han fet esforços per instal·lar plantacions experimentals de pi pinyer (Mutke et al., 2005c). Els pinyons són les llavors del pi pinyer (*Pinus pinea*), espècie originària de la regió mediterrània, i estan rodejades d'una capa dura anomenada coberta seminal o testa (**Figura 1**). Els pinyons estan entre la fruita seca més cara del món, però a la vegada degut a la limitada producció mundial, és un producte minoritari en volum de comerç (Mutke et al., 2013). En el present treball sempre que es parli de pinyons es referirà concretament als pinyons de *P. pinea*, ja que les llavors de la resta de pins també s'anomenen pinyons. La qualitat del processament dels pinyons pot diferir entre espècies, països i proveïdors, com també els preus en origen. La producció mundial de pinyons amb testa es xifra en unes 30.000 tones anuals (Aletà i Piqué, 2020).



Figura 1: Pinya i pinyons amb testa (esquerra) i pinyons sense testa (dreta).

Font: ("The Greenss Shop company," 2020; "The Original Garden," 2020)

La recollida de pinya per extreure pinyons és el principal aprofitament comercial de les pinedes de *P. pinea*, ja que és el que genera més rendibilitat econòmica (Piqué et al., 2013). En principi, el pi pinyer és un arbre forestal integrat en la dinàmica dels ecosistemes mediterranis, però pot arribar a utilitzar-se com a cultiu intensiu, i en els darreres dècades s'han posat en marxa plantacions orientades a la producció, emmirallant-se en els cultius fruiters més coneguts. Actualment, a diversos països productors hi ha molt interès, per part dels propietaris forestals i productors, per millorar la producció de pinyons a través de plantacions més tecnificades i sota un control més precís dels factors que poden fer augmentar la producció. Com que els preus pagats pels pinyons estan en augment, molts productors estan apostant per aquest cultiu, a més és una espècie resistent a factors climàtics adversos i presenta gran rusticitat respecte a factors edàfics. Per posar un exemple, segons valors històrics de la Llotja de Reus, l'any 2007 es pagaven, a majorista, preus pels pinyons de 22,5-25 €/kg, mentre que l'any 2019 es pagaven preus de 45-58 €/kg ("La Llotja de Reus," 2020). El preu de venda al públic frega actualment els 90-100 €/kg (Coello et al., 2018).

El pi pinyer és molt apreciat a la regió mediterrània perquè ofereix múltiples productes (fusta, pinyons, protecció de sòl, fixació de dunes, biodiversitat i paisatge). Els pinyons de pi pinyer són la principal fruita seca comestible recol·lectada dels boscos mediterranis (Calama et al., 2010). Degut a la seva aptitud per créixer en sòls pobres i climes semiàrids el pi pinyer ha augmentat

més del doble la seva àrea de distribució en els darrers dos segles, com a resultat de les reforestacions de protecció i restauració, arribant actualment a 0,7 milions d'hectàrees al voltant del mar mediterrani (Mutke et al., 2011). La reforestació amb pi pinyer té molt interès per la seva funció productora i protectora, ja que permet fixar dunes i evitar l'erosió del sòl (Mutke et al., 2000).

Actualment, les masses adultes de *P. pinea*, sotmeses a severos estressos biòtics i abiòtics derivats dels nous marcs climàtics, necessiten un revulsiu per arribar a ser rendibles pel que fa a la producció de pinyó.

1.2. El pi pinyer, una espècie que just comença a domesticar-se

A dia d'avui, gairebé tota la producció de pinyó comercial és recol·lectada en boscos naturals dels països mediterranis, on s'aplica un maneig extensiu (Mutke et al., 2000). El pi pinyer no va patir la revolució neolítica degut a diversos factors: el reduït rendiment i tamany petit de la llavor comestible; la seva gran variabilitat anual en producció, amb valors mitjans productius de 10-30 kg de pinyó per hectàrea als boscos; i la dificultat per la collita i l'extracció del pinyó, ja que la collita per vibració no va aparèixer fins a finals del s.XX i l'extracció dels pinyons es feia a mà fins a l'aparició de les primeres màquines processadores al s.XIX (Mutke et al., 2011). Tan sols recentment aquesta espècie ha patit els primers passos cap a la domesticació com a una alternativa interessant en zones rurals d'àrees amb clima mediterrani (Boutheina et al., 2013a). El pi pinyer gairebé no té cultivars o varietats definides (Mutke et al., 2007). Aquesta és la principal diferència amb altres arbres fruiters productors de fruita seca. Només s'han identificat dues varietats, la denominada *fragilis*, que té una fàcil obertura de la testa però no utilitzada pel ràpid deteriorament del pinyó; i la varietat australiana *Walker*, que desprèn les pinyes de forma espontània abans que s'obrin, facilitant molt la collita (Loewe i Delard, 2012).

La major innovació tecnològica dels darrers anys ha estat, com es comentava abans, l'ús generalitzat dels vibradors d'arbres adaptats al pi pinyer per a una recol·lecció mecànica, fent que la recol·lecció manual, una feina molt perillosa, quedés pràcticament obsoleta (Piqué et al., 2013). Una altra gran innovació per incrementar la producció mundial de pinyons de *P. pinea* és utilitzar arbres empeltats, en plantacions pures o sistemes agroforestals combinats amb pastura o una altra pràctica agrícola. Més endavant es desenvoluparà amb detall les qüestions sobre l'ús de l'empelt.

L'altre gran interès que té el pi pinyer és la producció de fusta, tot i que és un producte de menor valor que els pinyons. En general, la fusta del pi pinyer, molt resinosa i resistent a la humitat, no és gaire valorada en comparació a la d'altres coníferes, ja que té una densitat alta i presència de nusos grans (Piqué, 2009). La destinació d'aquesta fusta és l'embalatge, la trituració o la biomassa per a ús energètic. Antigament s'havia utilitzat per a la construcció de vaixells i mobles. La gran capçada del pi pinyer dificulta i redueix el rendiment dels aprofitaments de fusta. Altres usos del pi pinyer serien l'extracció de la pega, les reïnes i l'escorça (Gràcia i Ordóñez, 2013).

1.3. El mercat dels pinyons

Els pinyons han estat utilitzats com a aliment a la regió mediterrània des del Paleolític (Gil, 1999; Badal, 2001). El pi pinyer sembla que és autòcton de la Península Ibèrica, on s'han trobat restes arqueològiques de pinyes i pinyons carbonitzades (Mutke et al., 2019), i es va dispersar per tota la conca mediterrània fins al Mar Negre a través d'espècies endozoòcores i de l'acció de l'home prehistòric. La seva distribució és predominantment litoral i ha tingut un extens historial d'aprofitament per part dels pobles mediterranis, principalment pels pinyons. Encara avui la seva distribució està molt lligada a les àrees urbanitzades i als terrenys agrícoles. Actualment, la producció de pinyes proveeix de grans beneficis als propietaris de les pinedes de pi pinyer en comparació amb altres productes forestals, ja que els pinyons tenen un preu molt elevat en els mercats internacionals. Els preus varien segons factors múltiples (competència, producció, demanda,...).

P. pinea està situat entre les nou espècies d'arbres productors de fruita seca més importants del món (Fady et al., 2008). Espanya és el major productor mundial de pinyons, amb gairebé el 45% de la producció mundial (ASFOVA, 2004), seguit de Turquia amb el 20%. Després si situarien Itàlia i Portugal amb un 17% i 16% de la producció, respectivament. Turquia i Portugal destinen bona part de la seva producció a l'exportació (Loewe i Delard, 2012).

Els pinyons són productes beneficiosos per la salut, sobretot per disminuir el risc d'accidents vasculars (Segura et al., 2006). Aquestes llavors formen part de la dieta mediterrània tradicional. Els pinyons contenen un 40-50% de greixos, principalment àcids grassos insaturats. Respecte al contingut proteic, tenen entre 26-30% de proteïna (Escalona, 2005; Fàlder, 2004), destacant el contingut en àcid linoleic (omega 6) i linolènic (omega 3) (Costa i Evaristo, 2008). També presenten quantitats elevades de vitamina B1, B2, B3, B6, B9 i vitamina E. Si comparem els pinyons amb altra fruita seca, com ametlles, avellanes, festucs, nous o castanyes, podem afirmar que els pinyons tenen un contingut en proteïna molt elevat, així com en vitamina B1, fòsfor, magnesi, zinc i ferro (Costa i Evaristo, 2008; Loewe i Delard, 2012). En canvi, presenta continguts inferiors en àcids grassos, sodi i calci.

Els pinyons doncs tenen un alt valor dietètic i nutricional. Són fruits rics en oli, amb una textura suau i sabor resinós. El pinyó s'usa amb excel·lents resultats en pastisseria a nivell internacional (Loewe i González, 2007). És gairebé l'únic pinyó utilitzat en gastronomia, més enllà de menjar-se cru o torrat. S'usa en carns, peixos, aus i en múltiples salses. La **Figura 2** mostra dos exemples d'utilització dels pinyons en la gastronomia.



Figura 2: Panissets, dolç típic de Catalunya (esquerra) i amanida amb pinyons (dreta).

Font: (iStock, 2019; Sanfilippo, 2020)

Els països amb major consum de pinyons són Itàlia, Espanya, on en consumeix sobretot a determinades zones i períodes de l'any, i Portugal. Als països àrabs de la conca mediterrània, com Tunísia, Turquia o Marroc també es consumeix regularment en plats locals, així com també a Austràlia i Israel (Loewe i González, 2012). El consum mundial de pinyó ha incrementat en els darrers anys (Loewe i Delard, 2016), i com que l'augment de la demanda de pinyons no és cobert per l'oferta que ofereixen les pinedes seria interessant establir plantacions cultivades altament productives de pi pinyer (Guadaño i Mutke, 2016).

2. Objectius

En un primer moment el present Treball de Fi de Grau pretenia descriure un estudi experimental realitzat per l'autor en un assaig de pi pinyer de l'IRTA. Es pretenia analitzar la resposta vegetativa primaveral de *Pinus pinea* empeltat en diferents patrons, tant en fase juvenil com adulta. També es pretenia descriure la resposta productiva segons el tipus de patró en aquells individus adults. No obstant això, la situació d'emergència sanitària de la COVID-19 va aturar la presa de dades al mes de març i va impossibilitar la continuació de l'estudi en el temps establert. En aquest context l'autor va optar per canviar a l'actual tema, de caire bibliogràfic.

Com s'ha vist a la introducció, el pi pinyer és una espècie poc coneguda a nivell agronòmic en comparació a altres espècies arbustives i només durant les darreres dècades s'han fet esforços per domesticar-la i implementar-la en plantacions altament productives. Dins d'aquest marc el present treball recull la informació vigent pel que fa al tipus de material vegetal amb el qual es plantegen les plantacions d'aquesta espècie.

L'objectiu principal d'aquest treball és fer una comparació entre les plantacions de pi pinyer a partir de llavor i les empeltades. Són les dues maneres principals d'implementar les plantacions d'aquesta espècie i es descriuran com són aquests mètodes i s'analitzaran quins avantatges i inconvenients presenten.

També s'explicaran quins són els reptes a assolir de cara al futur del cultiu del pi pinyer i les amenaces a les que hauran de fer front els productors.

Per últim, el darrer objectiu és poder plantejar una proposta concreta de plantació de pi pinyer segons els criteris que defensi l'autor en base a la informació explicada durant el treball. Ha de ser una proposta justificada amb criteris agronòmics per tal de tenir una plantació rendible i sostenible que pugui ser atractiva per als productors.

3. Descripció de l'espècie

3.1. Descripció botànica

El pi pinyer també es coneix com a pi pinyoner o pi ver i és una conífera que pertany a la família de les pinàcies. Aquesta espècie presenta una dominància apical inferior a la d'altres pins, que tenen capçada cònica i si els marcs de plantació són amplis la dominància és encara més baixa. La ramificació del pi pinyer és poliàrquica, amb les branques laterals amb un diàmetre i llargada tant o més gran que l'eix principal (Mutke et al., 2005). La capçada és més ampla que alta, esfèrica quan l'arbre és jove i ample en forma de paraigües o para-sol quan l'arbre és adult (**Figura 3**) (Lanner, 1989). La forma eixamplada de la capçada pot ser interpretada com una estratègia que, en absència de competència lateral per la llum, millora la màxima producció de pinyes perquè maximitza el nombre de branques co-dominants. Només a les puntes de les branques grans i fortes és on es suporten les pinyes grans (Mutke et al., 2005).



Figura 3: Exemplar juvenil (esquerra) i adult de pi pinyer (dreta). Font: ("Van den Berk Viveros," 2020)

En el present treball, a no ser que s'especifiqui el contrari, sempre que es parli de producció de pinyes es parlarà de producció de pinya per unitat de superfície. Com la majoria de pins europeus, el pi pinyer té un creixement monopodial i cíclic. Pel que fa a l'orografia, les pinedes de pi pinyer es troben bàsicament en zones amb pendent lleu o, en menor grau, pendent mitjà (Gràcia i Ordóñez, 2013).

Les masses de pi pinyer es troben en zones termo-mediterrànies i meso-mediterrànies de bioclima subhumit, caracteritzades per estius secs i calorosos i hiverns suaus i plujosos (temperatura mitjana del mes més fred per sobre dels 0°C i precipitació anual de 600-800 mm) (Fady et al., 2008).

El pi pinyer es caracteritza per una alta plasticitat fenotípica i adaptabilitat, però té poca diferenciació en els paràmetres de creixement, poca variabilitat genètica i baixa aptitud per hibridar amb altres pins (Sánchez-Gómez et al., 2009). Aquesta baixa diversitat genètica es deu a que l'espècie va patir una situació de coll d'ampolla durant l'últim màxim glacial i posteriorment també és possible que en diferents regions del mediterrani es sembrés el mateix material genètic. Aquesta uniformitat genètica és preocupant ja que incrementa el risc de desaparició de l'espècie en cas de canvis bruscos de les condicions ambientals.

L'aparença externa de l'arbre també canvia de forma notable amb el temps i és el millor indicador de la seva edat fisiològica. La mort es pot produir per decaïment progressiu o per trencament (Gràcia i Ordóñez, 2013).

La seva escorça és gruixuda i amb plaques anguloses i rogenques, que l'ajuda a suportar focs de baixa intensitat. El tronc és dret, robust i cilíndric, i pot arribar fins a 30 m d'altura i a 1,5 m de diàmetre (Loewe i Delard, 2016).

La capçada ample i l'acumulació de fulles a l'extrem de les tiges li permet rebre llum directa del sol (Gràcia i Ordóñez, 2013). Les fulles són aciculars, de color verd clar, rígides i punxoses. Mesuren uns 10-20 cm de llarg i 1-2 mm d'ample. S'agrupen de dues en dues, unides a la base per una beina membranosa i perduren entre 2 i 3 anys (Gràcia i Ordóñez, 2013). El pi pinyer té un sistema radicular ben desenvolupat, que s'allarga a bastanta profunditat.

Té un cicle biològic reproductiu complicat. Les pinyes del pi pinyer necessiten tres anys en madurar des de l'aparició dels cons, en comptes de dos com la majoria de pins (Loewe i Delard, 2012). Com que la maduració del fruit dura tant de temps, els efectes mediambientals poden influir en diferents moments del creixement i la maduració (Mutke et al., 2005c). La coincidència de tres collites consecutives a l'arbre implica també autocorrelacions negatives i per tant, el control del maneig nutricional i hídric és més complicat que en altres arbres cultivats (Mutke et al., 2007). Hi ha el risc de perdre varies collites seguides per un únic any meteorològic molt advers. Els cons femenins i masculins estan situats en diferents parts de la capçada però en el mateix arbre (monoècia) (Mutke et al., 2000). La floració té lloc de març a maig a l'hemisferi nord. Els cons masculins són aments allargats, quasi cilíndrics, de color groc i formen glomèruls a la base dels brots de l'any. Els cons femenins són erectes, de 2 cm de longitud, solitaris, rarament agrupats de dos en dos o de tres en tres, ubicats al final dels brots de l'any. Tenen forma arrodonida i són lluent, de color bru vermellós. Quan el con femení rep el pol·len es tanca i es transforma en l'estròbil de primer any. Els estròbils o pinyes estan formats per esquames en disposició helicoidal al voltant d'un eix terminal. Cada esquama de la pinya amaga dos llavors, grosses, de 15-20 mm de llargada i 8-10 mm d'ample.

El cicle reproductiu del pi pinyer és el següent: els brots anuals, preformats a l'àpex dels brots de l'any anterior, s'allarguen d'abril a juny, contenint primordis, que al següent any seran òrgans subapicals (brots laterals i cons). Al següent any, aquests brots s'elonguen i es desenvolupa el con fins a l'antesi; la pol·linització té lloc al maig-juny. La pol·linització en pins té lloc mitjançant el vent (Parlak et al., 2013). La velocitat del vent té un paper important per desprendre el pol·len dels cons masculins i transportar-lo als cons femenins. Capçades massa denses no permeten la circulació de l'aire per pol·linitzar correctament. La pinya experimenta un creixement durant el proper any. La fecundació es produeix dos anys després de la pol·linització, a la primavera. Aquest mateix any les pinyes, ovoides, maduren fins a la tardor, amb un creixement accelerat d'abril a mitjats de juliol (llargada final de 8-15 cm i amplada de 7-10 cm). L'obertura dels pinyes té lloc a la següent primavera i estiu si no s'han recol·lectat l'hivern anterior (Mutke et al., 2005c). La **Figura 4** és un esquema de les etapes de la fenologia reproductiva del pi pinyer.

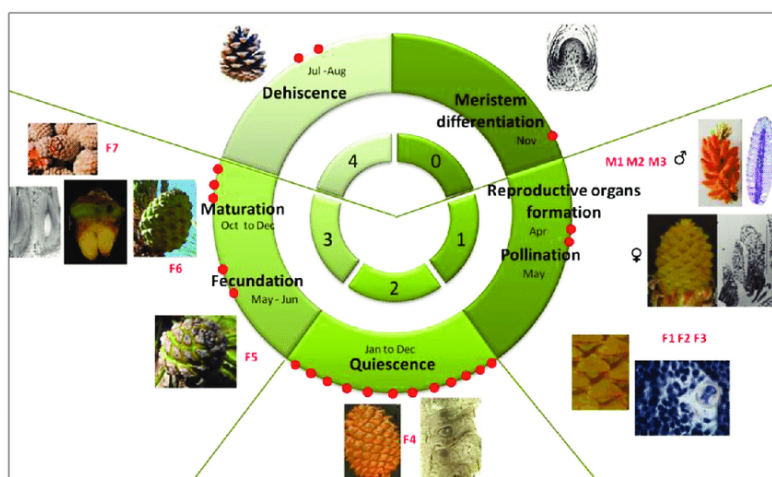


Figura 4: Fenologia reproductiva del pi pinyer. Font: (Valdivieso et al., 2017)

La producció de pinyes mostra una gran variabilitat any a any, i normalment una bona collita ve precedida d'una collita escassa la temporada següent, fet que es coneix com a caràcter anyívol (Boutheina et al., 2013a). Les pinyes poden arribar a 250-300 g i cada llavor, un cop treta la testa, a 0,16 g (15 mm de llarg i 5 mm d'ample), que són dispersades per animals (Mutke et al., 2005), com les rates frugívores (*Rattus rattus*). Els pinyons del pi pinyer són grossos i pesants, comparats amb la resta de pins de la península ibèrica. Són allargats, de color blanc groguenc i de consistència farinosa (Loewe i Delard, 2016). Aproximadament el rendiment de pinyó és d'un 4% respecte les pinyes recent collides. Amb 25 kg de pinya obtenim 1 kg de pinyó (Loewe i González, 2012) i per cada pinya pot haver-hi 50-70 pinyons aproximadament.

Els pinyons són bons germinadors en estat natural però també són molt atractius per als depredadors i la regeneració natural és escassa. Això és degut també a la poca distància de dispersió de la seva llavor i a les dificultats de les plàntules per establir-se i sobreviure durant els primers anys de vida (Gràcia i Ordóñez, 2013). També s'hi suma la collita de pinyes i la sobrepastura que dificulten encara més la regeneració forestal del pi pinyer (Boutheina et al., 2013a). El pinyó té una ala molt rudimentària, que es desprèn amb facilitat (Gràcia i Ordóñez, 2013). Altres llavors de *Pinus* es dispersen a través del vent ja que pesen poc i tenen una ala que els permet volar (Montoya, 1990). La regeneració també és escassa en zones cremades, de manera que un augment dels incendis en pinedes de pi pinyer pot representar una amenaça real per la seva continuïtat (Gràcia i Ordóñez, 2013).

3.2. Distribució

La distribució actual del pi pinyer en el món es localitza sobretot en algunes zones concretes de la Mediterrània, des de Portugal fins a Síria (Aletà i Piqué, 2020), tal com il·lustra la **Figura 5**. Des del segle passat, el pi pinyer s'ha expandit considerablement, sobretot al sud i al est de la conca mediterrània, on s'usa per restaurar boscos i es planta en zones rurals. La superfície de pi pinyer al món arriba a 657.515 ha, de les quals la Espanya avui dia conté el 72% i Portugal el 10% (Loewe i Delard, 2016). Després vindria Turquia i Itàlia, amb un 6 % cadascun. El pi pinyer creix

principalment a les planes i turons sorrencs propers al litoral, on sovint juga un paper ecològic fonamental en la fixació sòls sorrencs (Gràcia i Ordóñez, 2013). Pot trobar-se des del nivell del mar fins als 500-600 m al nord del mediterrani i fins als 800-1.400 m a l'est. Al llarg de la història el pi pinyer ha estat àmpliament plantat a les costes del mediterrani per etruscos, grecs, romans i àrabs, de manera que resulta difícil saber de cada lloc si és autòcton o introduït (Fady et al., 2008). S'ha introduït amb èxit al nord d'Àfrica (Tunísia, Algèria, Líbia i Marroc), Àsia (Geòrgia, Rússia, Iraq, Israel i Xina), Amèrica (Argentina, Xile, Brasil, Uruguai i EE.UU.), així com Sud-àfrica, Austràlia i Nova Zelanda. En altres regions, com Califòrnia, Escòcia o Anglaterra es troben només en parcs i jardins.

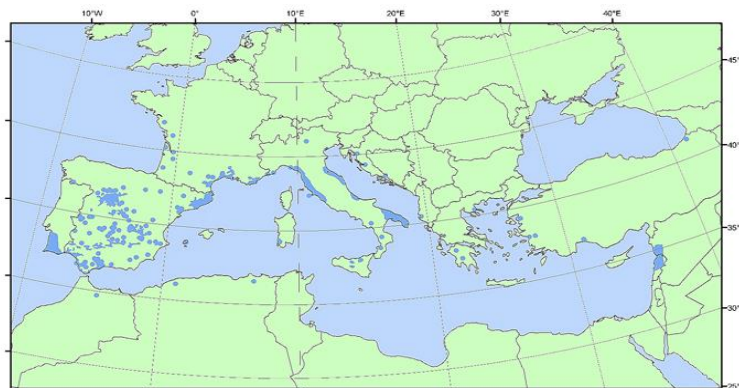


Figura 5: Distribució actual de *P. pinea* a la conca mediterrània
Font: (Fady et al., 2008)

P. pinea té molta importància a Portugal, on les seves àrees de producció de pinyons han anat incrementant-se constantment en les darreres dècades (Loewe i Delard, 2012).

Els boscos de pi pinyer d'Espanya cobreixen una superfície de 474.000 ha (Loewe i Delard, 2012). Les principals àrees de creixement són l'oest d'Andalusia i la Meseta interior nord. També s'estenen per Catalunya, Castella - la Manxa, Madrid i Extremadura, ja sigui en boscos purs o mixtos amb el suro, l'alzina o la pinassa. Valladolid és al centre de l'àrea més important en quant a producció de pinyons a Espanya.

A Catalunya es distribueix per la costa, des de l'Alt Empordà fins al Baix Llobregat i cap a l'interior en zones d'Osona, el Bages, l'Anoia, l'Alt Penedès, el Priorat o el Baix Camp, en prop de 41.000 ha (Aletà i Piqué, 2020). Sobretot ocupa terrenys de natura àcida, com els granits o els esquists, de la terra baixa (0-500 msnm), que pateixen manca d'aigua durant els mesos d'estiu (Gràcia i Ordóñez, 2013). La **Figura 13** mostra un diagrama ombrotèrmic d'una zona on és distribueix el pi pinyer de forma natural i permet visualitzar com varien els valors de la temperatura i la precipitació al llarg dels mesos.

Fora d'aquestes comarques, el pi pinyer es troba dispers pel territori, sovint afavorit per l'ésser humà. S'han fet repoblacions en algunes àrees del clima marítim, sobretot per aprofitar-ne els pinyons, tot i que també és força apreciat com a arbre ornamental (Gràcia i Ordóñez, 2013). L'aparició de la fil·loxera a finals del segle XIX va matar totes les vinyes de Catalunya, i bona part d'aquells terrenys van ser recolonitzats per bosc, sobretot per pinedes de pi pinyer afavorides pels humans (Gràcia i Ordóñez, 2013). A partir de la segona meitat del segle XX molts bancals

agrícoles marginals van ser plantats amb pi pinyer també. Altres plantacions de pi pinyer van ser motivades per fixar dunes de l'Empordà o del delta del Llobregat.

3.3. Factors que afecten la producció

La producció de pinyes està controlada per diversos factors. En aquest apartat es comentaran els més rellevants, que cal tenir en ment alhora de dissenyar i gestionar una plantació de pi pinyer. Com s'ha comentat anteriorment, la producció anual de pinyes de pi pinyer és molt variable (espècie anyívola) i això és una qüestió important per al maneig forestal o de les plantacions (Mutke et al., 2005). Per exemple, la producció mitjana de pinya/ha en boscos catalans va ser 4,5 vegades superior l'any 2000 que al 2001 (Piqué, 2009). La producció anual de les poblacions de plantes policàrpiques fluctua considerablement, sovint amb sincronia a escala regional (Loewe i Delard, 2012). És necessari reduir l'alternança de producció que es dona tant en bosc (Gordo, 2004) com en plantacions, de llavor o empeltades. En aquest aspecte, les plantacions són interessants per controlar molt més els factors que perjudiquen a la producció del pi pinyer. Paga la pena apostar per unes plantacions més regulades pels productors, ja que es pot augmentar considerablement la producció de pinyons i fer-les atractives a altres productors forestals o agrícoles.

Aquesta espècie necessita, comparat amb altres cultius, poques gestions agrícoles i resisteix condicions climàtiques adverses com la sequera i gelades tardanes extremes. El pi pinyer és molt resistent a la sequera ja que té unes arrels profundes i una taxa baixa de creixement, típic d'estratègies conservadores d'ús d'aigua (Loewe i Delard, 2012).

La producció de pinya depèn sobretot de la mida de l'arbre (Calama i Montero, 2007; Mutke et al., 2005), definida pel volum de la capçada, l'edat i l'estatus social. Els arbres més grans, amb un volum de capçada important (factor més influent en la producció de pinyes) i situats en llocs amb baixa densitat produeixen més pinyes (Gonçalves i Pommerening, 2012; Mutke et al., 2003). L'estatus social de l'arbre té un efecte significatiu en el nombre de pinyes amb una major producció en els arbres dominants en comparació amb els co-dominants i els dominats (Boutheina et al., 2013a). La mida de l'arbre està influïda per les condicions i recursos ambientals (36-46%), el factor clonal (22-32%) i les correlacions espacials (8-20%) (Mutke et al., 2007). També és el factor que més rellevant (71 % de determinació en la producció) en els models predictius, per davant dels efectes de la parcel·la i el component genètic (Mutke et al., 2003). Quant més pes tingui la pinya més pes i quantitat tindran els pinyons que conté i el rendiment proporcional en pinyó (pinyes més grans contenen més llavors plenes) (Calama i Montero, 2007). La quantitat i qualitat de pinyons van relacionades, de manera que es pot fer una selecció combinada (Mutke et al., 2005a).

El creixement augmenta amb la classe diametral de l'arbre, la qual cosa significa que els arbres més grossos creixen més (Gràcia i Ordóñez, 2013). El diàmetre de capçada augmenta amb el diàmetre del tronc i disminueix amb el nombre de peus/ha.

Per altra banda, les àrees més productives estan en zones amb una menor humitat relativa de l'aire i una major velocitat del vent (necessari per pol·linitzar) que les àrees menys productives (Parlak et al., 2013).

Pel que fa al factor genètic, el grau de determinació genètica estimada de la producció de pinya, en assaigs de camp és de 0,1-0,4 (Mutke et al., 2007; Mutke et al., 2005). És a dir, si desglosséssim la importància dels factors productius en la producció de pinyes, el % que correspondria a la genètica de l'arbre seria de 10-40 %. La formulació estocàstica permet simular la producció de pinyes, mitjançant models, sota diferents escenaris i descriure la distribució real de la producció dins un lloc (Calama et al., 2008). Els models poden ser una eina molt útil per a detectar bones i males collides ràpidament, ajudant als propietaris forestals i les indústries pinyoneres a planejar estratègies i prendre decisions. Una correcta gestió de la parcel·la pot duplicar la producció i, en canvi, una mala gestió pot reduir-la a la meitat, de manera que serà clau per a la seva viabilitat (Guadaño i Mutke, 2016).

3.3.1. Temperatura

Una de les principals explicacions dels hàbits de producció de les plantes policàrpiques, com el pi pinyer, és el clima. La temperatura està relacionada amb altres factors que també limiten la producció de pinyes, en l'espai i en el temps, com la presència de plagues i malalties (Loewe i Delard, 2012). Tot i ser una espècie xeròfila, la collita es redueix molt amb temperatures màximes molt altes i vents càlids durant el període de pol·linització (Gràcia i Ordóñez, 2013). La temperatura excessiva de primavera i estiu també afecta negativament la inducció floral femenina (Mutke et al., 2005).

En línies generals, la temperatura mitjana de les regions naturals de l'espècie se situa entre els 10 i els 19°C, variant a 21-26°C el mes més càlid i a 3-11°C el mes més fred (Guadaño i Mutke, 2016). No obstant això, els millors creixements vegetatius es donen a temperatures mitjanes entre 12 i 15 °C (Loewe i Delard, 2016). Les estacions seques prolongades, associades al dèficit hídric, afecten negativament a creixement del pi pinyer (Loewe i Delard, 2012).

El clima mediterrani es caracteritza sobretot per un règim amb dèficit hídric durant la part càlida de l'any. Té temperatures moderades i pluges estacionals no gaire abundants. A més de la conca mediterrània, també tenen clima mediterrani l'extrem sud de Sud-àfrica, el sud-oest d'Austràlia, el centre de Xile i Califòrnia. En aquestes zones allunyades de la conca mediterrània s'ha naturalitzat el pi pinyer, sovint amb bons resultats productius.

En els últims anys, a la Península Ibèrica i a la resta d'Europa, s'ha observat una davallada de la producció i del rendiment del pinyó, lligada a l'augment de les temperatures i a l'efecte del l'insecte *Leptoglossus occidentalis* (Coello et al., 2018).

3.3.2. Reg

S'ha observat que la irrigació té un efecte positiu tant en paràmetres de creixement (major diàmetre a alçada de pit, alçada i diàmetre de capçada) com en producció de pinyes (Loewe i Delard, 2014). Existeix una correlació entre les precipitacions al final de l'elongació de brots (pluja de juny) i la seva llargada així com amb la floració del proper any (Mutke et al., 2003). En quant a producció, el pes mitjà de la pinya està fortament correlacionat amb la precipitació de l'últim any de desenvolupament (sobretot durant la primavera), de manera que el reg pot tenir interès en aquest moment (Mutke et al., 2007). La irrigació no només augmenta el pes de les

pinyes, que pot ser fins a un 15% superior, sinó també el nombre de pinyes (Bono i Aletà, 2013). L'estrès hídric limita notablement la producció del pi pinyer. Els anys poc plujosos provoquen pèrdues de quantitat i qualitat del pinyó (Mutke et al., 2005). El límit inferior hídric per a una producció comercial de pinyons és de 600 mm/any, tot i que dependrà de la evapotranspiració potencial del lloc (Loewe i González, 2012).

Els arbres irrigats tenen una menor mortalitat de les pinyes de 2n any en comparació amb els no-irrigats (Bono i Aletà, 2013). Sobretot influeix el reg entre principis d'abril i finals de maig. De juny a juliol el reg no sembla tenir efectes significatius en la producció de pinyes (Bono i Aletà, 2013). La irrigació és una pràctica important sobretot en zones amb limitacions hídriques i permet reduir la irregularitat de producció entre anys. Per tant, és convenient implementar plantacions intensives irrigades sempre que la pluviometria no satisfaci les necessitats dels arbres.

Per una cobertura de canòpia del 50%, l'aigua irrigada teòrica hauria de ser de 1.300-1.400 m³/ha cada any. Es considera no recomanable superar el 50% de canòpia en aquest tipus de plantacions, per tal de mantenir una il·luminació adequada i garantir la inducció floral. De totes maneres, aquesta quantitat d'aigua és poca comparada amb altres cultius de fruita seca, com els ametllers, que tenen una demanda d'aigua calculada de 2.000 m³/ha cada any en plans amb dèficit d'aigua (Girona, 2005).

3.3.3. Podes i esclarissades

Per optimitzar la producció de pinya en quantitat i qualitat cal tendir cap a una obertura de la capçada mitjançant podes suficientment intenses (Mutke et al., 2007). La poda però és limitada, ja que els pins pinyers no formen brots llargs des dels borrons axil·lars, sinó només des dels terminals, formant pinyes exclusivament sobre els brots vigorosos perifèrics de la seva capçada expansiva (Mutke et al., 2000). La poda del pi pinyer consisteix bàsicament en eliminar les branques seques de la base i l'interior de la capçada, amb la finalitat d'afavorir el desenvolupament de les branques principals, que tenen les guies a la superfície del cobricel arbori. Es recomana repetir les podes cada 5-10 anys (Guadaño i Mutke, 2016). Les podes també han d'alliberar l'arbre de la biomassa foliar inferior de la capçada i aconseguir capçades baixes i obertes.

El nombre de pinyes per arbre decreix significativament amb l'increment de la densitat d'arbres (Boutheina et al., 2013a) i segons van revelar alguns estudis, com menor sigui la densitat més arbres dominants hi haurà (Calama et al., 2008; Mutke et al., 2005). Les pràctiques silvicultores apropiades, com la poda o les esclarissades són necessàries per millorar la producció de pinyons i el procés de regeneració. Les masses aclarides i amb capçades ben desenvolupades tenen una producció de pinya superior a les masses denses i faciliten la mecanització de la recol·lecció de pinyes (Piqué, 2009). Les tipologies de massa clara també comencen a produir pinya a edats menors (Piqué, 2009). Tanmateix, és possible la producció combinada de fusta i de pinya conduint les masses cap a densitats mitjanes. Per prioritzar la producció de pinyons es recomanen densitats de plantació de 250-300 peus/ha, ja que és recomanable una gestió dirigida a concentrar el màxim de producció per hectàrea distribuïda en el menor número de peus possible (**Figura 6**). La regeneració natural del pi pinyer sol presentar una distribució

irregular i la seva densitat pot ser variada (600-2500 peus/ha). Hem de pensar que el pi pinyer té molta plasticitat fenotípica en l'arquitectura segons l'ambient lumínic (Mutke et al., 2007).

Les masses orientades a la producció de pinya s'han d'aclarir fortament a edats joves, i així afavorir el desenvolupament de la capçada. Es recomanen marcs de plantació amplis en plantacions o reforestacions, des de 3 x 4 m fins a 10 x 10 m (Piqué, 2009), tot i que poden ser superiors. Com que el pi pinyer és una espècie heliòfila, una bona il·luminació de la capçada és un requisit imprescindible per a una floració i fructificació abundant.

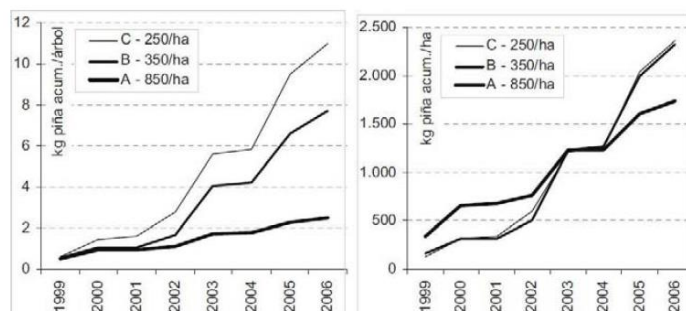


Figura 6: Producció de pinya acumulada per arbre (esquerra) i per hectàrea (dreta), segons el marc de plantació. Font: (Mutke et al., 2011)

L'àrea basal per hectàrea (suma de les seccions de fust mesurades a altura de pit) hauria d'estar per sota de 10 m²/ha per evitar un estancament progressiu de la plantació i una baixada de producció (Guadaño i Mutke, 2016).

3.3.4. Maneig del sòl i fertilització

Com més qualitat tingui el terreny més producció de pinyes faran els arbres (Calama et al., 2008). El pi pinyer creix bé en sòls permeables amb pH de 6-8, preferint sòls profunds i arenosos típics de zones litorals (Mutke et al., 2008). En canvi, no tolera bé les textures argiloses. També resisteix bé la salinitat i l'alcalinitat (Loewe i Delard, 2016). Experiments en pinedes andaluses han observat que tot i que la fertilització provoca l'augment de producció dels 3 primers anys successius a l'aplicació de l'adob, aquest no dona increments significatius en el nombre de pinyons per pinya, ni en el pes de pinyes o pinyons (Gràcia i Ordóñez, 2013). Altres estudis afirmen que la fertilització augmenta la producció de pinyes i la biomassa en arrels, fulles i tronc (Loewe i Delard, 2012). Com que existeixen pocs estudis que determinin l'efecte de la fertilització en la producció de pinyons les conclusions encara no estan del tot clares. La combinació de reg i fertilització s'ha descrit com a positiva per l'espècie, estimulant la producció (Loewe i Delard, 2012). En general, la fertilització ajuda a reduir el caràcter anyívol, ja que una gran producció estressa nutricionalment l'arbre i redueix les següents collites.

L'element més limitant per a l'espècie és el nitrogen (Loewe i Delard, 2012). En sòls arenosos és recomanable incorporar fertilitzants nitrogenats i matèria orgànica (la fertilització orgànica amb dejeccions ramaderes és positiva) per millorar l'estructura del sòl. L'aplicació de dolomita (carbonat de calci i magnesi) també s'ha mostrat beneficiosa per a la producció i qualitat de les pinyes (Calama et al., 2007).

Alguns autors també indiquen que l'ús de fertilitzants minerals d'alliberació lenta incrementen longitudinalment els pins, almenys als primers anys de plantació (Cañellas et al., 1999).

Caldrà fer un control de les males herbes, sobretot quan els arbres siguin joves, ja que les herbes competeixen per l'aigua i els nutrients amb els pins. Els herbicides donen bons resultats, però donades les característiques del cultiu no s'aconsellen en tècniques de gestió agroforestal. Eliminar el sotabosc arbustiu millora la producció dels pins, redueix el risc d'incendi per discontinuïtat vertical i facilita les tasques de recol·lecció de les pinyes (Piqué, 2009).

3.3.5. Plagues i malalties

La producció de pinyons ha disminuït en els últims anys a molts països productors mediterranis, sobretot degut a l'atac de *Leptoglossus occidentalis*, un insecte xuclador que s'alimenta de les llavors de diverses coníferes (Tamburini et al., 2012). Actualment, a Espanya i a Europa *Leptoglossus occidentalis* és la principal amenaça biòtica per a la producció de pinyons. L'any 2015 va haver una gran davallada de la producció de pinyó a Catalunya atribuïda a aquest insecte exòtic (provinent de l'oest d'EE.UU), detectat a Itàlia per primer cop al continent europeu al 1999 i estès després per Europa. Va entrar a Espanya l'any 2003 i a Portugal el 2010 (Loewe i Delard, 2012). Tot i estar present a Espanya des del 2003 no va ser anys més tard quan es notaria el seu impacte de manera forta. Recentment s'han quantificat els danys d'aquesta xinx. Provoca una pèrdua del 48 % en pinyes i del 65% en pinyó comercial (de la Mata et al., 2019). Pot arribar a provocar, en els cassos més severs, la pèrdua de tota la producció. En els arbres afectats, el rendiment de pinyons respecte el pes de la pinya ha baixat del 4% al 1,5% en els darrers anys. Les pinyes afectades per aquesta xinx secreten més resina, s'enfosqueixen i perden pes (**Figura 7**). També s'hi ha de sumar les pèrdues de pinyes de 1r i 2n any que s'assequen si són afectades per l'insecte. Controlar aquesta plaga és imprescindible per a que les plantacions de pi pinyer siguin viables. Les plantacions agroforestals o de caràcter agrícola poden facilitar el control de plagues i malalties com *Leptoglossus occidentalis*. La fumigació de boscos naturals està prohibida per les autoritats responsables o és molt costosa i ha d'anar a càrrec de l'administració (Guadaño i Mutke, 2016). Fins ara el mètode que sembla més efectiu per combatre aquest insecte és el biològic, mitjançant parasitoides com *Gryon pennsylvanicum* o *Ooencyrtus pityocampae*; aquest darrer també ataca els ous de la processionària del pi (Domínguez, 2001). No obstant això, aquests parasitoides són exòtics i no se sap quin efecte podrien tenir en el medi on s'introduïssin, de manera que és un mètode a dia d'avui de difícil aplicació, i més tenint en compte les estrictes normatives europees i estatals sobre aquestes qüestions. El futur immediat amb aquesta plaga passa per conèixer millor com actua sobre el pi pinyer i seleccionar materials menys susceptibles a ella (de la Mata et al., 2019).



Figura 7: Danys en pinyes provocats per *Leptoglossus occidentalis* (esquerra) i un exemplar adult de l'insecte (dreta). Font: (Loewe i Delard, 2012)

Per altra banda, les altres plagues rellevants del pi pinyer a Espanya i a la resta d'Europa són bàsicament la processionària de pi (*Thaumetopoea pitycamp*), l'arna *Rhyacionia buoliana* i els perforadors més comuns: *Pissodes validirostris* i *Dioryctria mendacella*, que poden afectar entre el 10% i el 90% de la collita de pinyes i reduir el seu valor comercial (Gordo et al., 2013).

Respecte a malalties, el pi pinyer pot patir-ne algunes provocades sobretot per diversos fongs, com *Cronartium flaccidum*, *Coleosporium tussilaginis*, *Phellinus pini* o *Diplodia pinea*. En els vivers cal controlar molt bé que no apareguin fongs, com *Fusarium* sp., *Botrytis cinerea* o *Trichothecium roseum*, a les llavors i plàntules recent germinades ja que poden provocar la mort de tota la producció de plantes. En principi l'atac dels fongs al pi pinyer està localitzat en territoris determinats i en general es recomana eliminar el material atacat i seguir bones pràctiques culturals per evitar la seva aparició (Loewe i Delard, 2012).

3.4. Millora genètica

Durant les darreres dècades s'han realitzat programes de millora genètica de *P. pinea* (Abellanas et al., 1997; Castaño et al., 2004; Escrich, 2001; Gordo et al., 2000; Iglesias, 1997), motivats per la demanda sostinguda de pinyons en el mercat internacional i la seva importància econòmica. S'ha definit la producció del fruit com a caràcter de millora, amb la finalitat de disposar d'individus amb alts rendiments de producció i qualitat. A més, l'ús potencial del pi pinyer empeltat per a la producció de pinyons justifica la seva millora genètica clonal (selecció varietal).

Els programes de millora genètica de pi pinyer, a Espanya, el duen a terme organismes públics, com les administracions forestals, amb col·laboració amb centres de recerca i departaments d'universitats (CIFOR-INIA, UPM, UVa, UCo, UHu, IRTA, TRAGSA, EGMASA, VAERSA,...). A la resta de països (Portugal, Itàlia, Turquia, Tunísia, Xile,...) passa el mateix. Tots els països estan connectats a través de la xarxa de recerca cooperativa del pinyó FAO-CIHEAM (Mutke et al., 2011).

Investigadors italians van iniciar la selecció i propagació per empelt de clons grans productors de pinya als anys 50 del segle passat, que va continuar a Espanya i Portugal després (Mutke et al., 2007). A començament dels anys 90, a Espanya, es va iniciar un programa de millora genètica clonal de *P. pinea* amb l'actual *Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal* i la

Universidad Politécnica de Madrid (Iglesias, 1997), sota la direcció de Gabriel Catalán Bachiller. També hi va treballar en millora el *Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias* (INIA), la *Junta de Castilla i Lleó* i la *Junta d'Andalusia* (Guadaño i Mutke, 2016). A finals dels anys 80 va començar la primera tasca de prospecció d'arbres que produïssin grans quantitats de pinya en les principals regions de procedència de l'espècie. Els arbres seleccionats van propagar-se mitjançant empelts homoblàstics (amb patró i empelt de la mateixa espècie) en parcel·les específiques (a densitats baixes): els bancs clonals. Aquests bancs, situats principalment a Castilla i Lleó, Andalusia i al País Valencià, servien per assajar el material sota un mateix ambient i per reservar-lo per a futures campanyes de propagació. Com que el pi pinyer té una producció molt variable d'un any a un altre les seleccions de genotips representatives s'han de fer amb dades de 4-5 anys com a mínim.

El programa de millora de pi pinyer fet a Espanya, al igual que amb la resta de pins, té com a punt de partida estudiar la variació genètica geogràfica, delimitant les regions de procedència (Guadaño i Mutke, 2016). Es busca seleccionar per quantitat i qualitat de pinyons. Seleccionant el millor 10% de clons pot suposar un guany genètic del 20-40% en producció (Mutke et al., 2011).

Existeixen també models predictius de producció de pinya per arbre individual, més precisos, que estimen la producció a partir del genotip de cada arbre, el seu tamany i les correlacions espacials (competència entre arbres) (Mutke et al., 2003). El pi pinyer és sensible a la competència intra- i interespecífica (Mutke et al., 2008). Els genotips de pi pinyer més productius són els productors d'un major nombre de pinyes de 1r any, la collita depèn doncs del comportament productiu de l'arbre 3 períodes vegetatius abans (de la Mata et al., 2019).

Des de 2015 existeixen els primers clons registrats, a Espanya, de *P. pinea* seleccionats per una major productivitat, a l'abast a través de planta empeltada i/o pues. Aquests clons estan admesos en el BOE 13/05/2015 i el BOE 19/12/2015 (Guadaño i Mutke, 2016). Aquests materials de base permetran produir material de reproducció amb les garanties que estableix el Real Decret 289/2003 sobre comercialització dels materials forestals de reproducció (BOE 08/03/2003) en les categories de "qualificat" i "controlat". Això implica que la comercialització i producció de materials de reproducció amb finalitats silvícoles ha d'estar subjecta a un sistema de control de traçabilitat que garanteixi el seu origen i qualitat genètica (Guadaño i Mutke, 2016). Doncs, resultaria il·legal utilitzar pues per empeltar que procedissin de materials de base no autoritzats, així com la comercialització d'aquests arbres empeltats. L'únic país que també ha avançat en la selecció de materials de base és Portugal, on s'ha realitzat un procés similar en els darrers 20 anys (Guadaño i Mutke, 2016). En un futur cal pensar en utilitzar genotips específicament adaptats a la zona concreta on es vol realitzar la plantació, a través de l'experiència empírica en totes les zones d'interès pel cultiu, ja que es produeix una interacció genotip x ambient (Mutke et al., 2003). Actualment s'està duent a terme aquesta tasca a diversos territoris d'Espanya (Valladolid, Madrid, Guadalajara i Caldes de Montbui), on s'han instal·lat assajos genètics per poder estudiar la interacció genotip x ambient i així poder conèixer els criteris d'ús per als diferents materials.

3.5. Sistemes agroforestals

A Espanya, en el període de 1990-2010, es van plantar unes 500 ha de pi pinyer empeltat per les administracions forestals o propietaris privats; pures o mixtes amb alzina surera en sistemes multipropòsit innovadors que combinen produccions de productes no fustaners d'alt valor (suro i pinyons) amb la protecció del sòl i facilitats pel pastoreig i la vida salvatge (Mutke et al., 2011). Aquest tipus de sistemes, anomenats agroforestals o agro-silvo-pastorals, amb obtenció de diferents productes en una mateixa parcel·la han mostrat ser més resilients i sostenibles. Procuren integrar diferents espècies en un mateix model de fructicultura forestal per optimitzar els *inputs* i treure un major benefici que tractant les espècies en sistemes agronòmics convencionals. És un sistema molt adequat per a terrenys de vocació forestal o marginals, on representen una alternativa a les repoblacions clàssiques (Mutke et al., 2000). La diversificació dels productes obtinguts en aquestes plantacions redueix el risc de la inversió, sense descartar altres productes com la fusta, la generació de biomassa amb elevat poder calorífic o els derivats del turisme rural. A més, els pocs requeriments que necessita converteixen el pi pinyer en una bona espècie per a sistemes agroforestals extensius, que són un filosofia de cultiu cada cop més acceptada pel sector.

Un bon exemple d'aquest tipus de sistemes seria la introducció d'espècies com la tòfona de Borch (*Tuber borchii*) a les plantacions de pi pinyer, que té una elevada capacitat de micorizació amb aquest arbre (Morcillo et al., 2017). Aquesta tòfona també pot desenvolupar-se associat a l'avellaner, l'alzina o el suro. El reg permet regular amb més precisió els requeriments hídrics de la tòfona, aconseguint una major intensificació de la producció. La tòfona fructifica ràpid en plantacions, als 4 anys d'edat del pi. El rendiment és de 30 kg tòfona/ha, amb 330 peus/ha (Morcillo et al., 2017) i els preus pagats per aquestes tòfones estan al voltant de 400 €/kg. Pot ser interessant veure si *Tuber borchii* pot mitigar la virulència de patògens fúngics que afecten el sistema radicular de *P. pinea*.

Un altre exemple estaria a la província de Huelva, on existeixen experiències de repoblacions mixtes de suro amb pi pinyer empeltat, combinant la precocitat de la producció de pinya i el limitat desenvolupament del pi pinyer empeltat amb l'entrada més lenta en producció del suro unes dècades més tard (Mutke et al., 2007). A l'Aletejo portuguès hi ha explotacions que cultiven cereal sota la coberta de pi pinyer, a marcs amplis, i amb bones produccions de pinya, amb l'enfoc conceptual de l'agricultura de conservació i la diversificació agrària (Mutke et al., 2011). A Xile, hi ha hagut finques de pi pinyer que inclouen cultius agrícoles (avena, patata o margall italià) i el pastoreig d'ovelles, amb beneficis nets per hectàrea 7 cops superiors que en plantacions pures de pi pinyer (Loewe i Delard, 2019). El pastoreig d'ovelles permeten reduir les males herbes i arbustos, fragmentar el terreny i adobar-lo amb les dejeccions que deixen.

4. Plantacions a partir de llavor

4.1. En què consisteix

Una de les tècniques de reproducció del material vegetal del pi pinyer és l'obtenció d'arbres a partir de llavor. Un estudi en 5 procedències espanyoles va descriure viabilitats de les llavors entre 34 i 96% (Benito-Matías et al., 2004). En principi no calen tractaments a la llavor abans de la sembra, però es pot millorar la capacitat germinativa si es remullen les llavors un o dos dies en aigua freda (Heth, 1983). Les llavors triguen entre 13-25 dies en completar la germinació, a temperatures entre 10-25°C i fotoperíodes de 12 hores (Ganatsas et al., 2008). Per obtenir una adequada germinació de llavors cal que la recol·lecció de les llavors es faci durant l'època adequada, que sol ser entre tardor i hivern, quan les pinyes tenen color verd cafè, i millor utilitzar llavors de la darrera collita (Montoya, 1990). Cal precisar l'època de l'any en la que té lloc la maduració de les pinyes de 3r any, ja que el rendiment i viabilitat de les llavors normalment incrementa amb la maduració del fruit (May, 1984). Per obrir les pinyes el millor és assecar-les en una estufa (2h a 60°C), i si no es pot, deixar que s'assequin al sol. Habitualment les llavors viables de pi pinyer no presenten complicacions germinatives degudes a embrions immadurs o latències fisques de la coberta (Loewe i Delard, 2012). Les llavors s'han d'emmagatzemar a una humitat relativa del 6-8% i a temperatures de 4-5°C en envasos hermètics, de manera que puguin mantenir-se viables 4-5 anys (García-Fayos et al., 2001). Els pinyons poden persistir durant bastants anys i mantenir la seva facultat germinativa degut a la forta protecció que li confereix la testa, que és molt dura (Gràcia i Ordóñez, 2013). El gran tamany dels pinyons fa que augmenti la seva probabilitat de germinació i desenvolupament de la plàntula. A més, les llavors tenen reserves que permeten un ràpid creixement de les arrels.

Les llavors utilitzades per reforestar o fer plantacions sovint cal que estiguin registrades en el catàleg pertinent de cada estat i així garantir la qualitat del material de reproducció que s'està utilitzant.

Les plantacions de pi pinyer a partir de llavor es poden dur a terme a través de la sembra directa o a través de produir plàntules en contenidor i després plantar-les a camp. La sembra directa és una tècnica apropiada per l'espècie, ja que permet que la planta estableixi l'arrel principal pivotant immediatament (Loewe i González, 2012). Per preparar el terreny cal extreure la vegetació natural, cremant-la o amb l'arada a 20-30 cm de profunditat. Després el millor és sembrar ràpidament, de forma manual o mecanitzada, per tal que neixin les plantes abans de l'hivern. Es recomana sembrar 3 pinyons per forat, després d'haver-los remullat durant 2-3 dies (Prada et al., 1997). És important mantenir la zona on s'han plantat les llavors neta de fullaraca i altres plantes que poden endarrerir el creixement de les plàntules de pi quan germinin i fins als 2 anys, ja que limitarien l'accés a la llum a les plantes (Boutheina et al., 2013b). Posteriorment s'han de fer aclarides intenses fins a tenir una densitat idònia per produir pinyó.

També és interessant sembrar directament quan hagi protusionat la radícula, fent germinar la llavor sobre vermiculita prèviament. Es col·locarien 5-10 llavors per forat a 2-3 cm de profunditat i al cap d'uns mesos deixar només la millor. L'èxit d'aquest mètode és del 70-90% i té un cost baix. Les arrels es desenvolupen millor d'aquesta manera que en plantacions. L'únic inconvenient és que necessiten protecció i supervisió i als primers anys les plantes són més petites que les de viver (Heth, 1983).

Amb la sembra directa del pi pinyer s'obtenen resultats molt satisfactoris (Pavari, 1959). És interessant per a regenerar pinedes, ja que redueixen els inconvenients dels transplantaments, tot i que es desaconsella en sòls o climes adversos.

No obstant aquest mètode, a molts països productors el mètode majoritari és utilitzar plantes d'un any produïdes a viver en contenidors llargs, amb llavor local, com també és fa en repoblacions d'altres coníferes des de fa anys. A Portugal produeixen plantes que als 8 mesos es venen a 0,1-0,2 €/unitat (Loewe i González, 2012). Es recomana que les llavors provinquin d'arbres altament productius situats a prop de la zona on es vol establir la nova plantació (Loewe i Delard, 2012).

La sembra de les llavors en contenidors a viver es realitza des de la tardor fins a finals de primavera, depenent de la zona on es trobi el viver. S'acostumen a realitzar les germinacions en hivernacles o sota malla Raschel i sobre safates de poliestirè expandit de 130-400 cc (**Figura 8**). Els contenidors han d'estar dissenyats per permetre un bon sistema radicular en viver i protegir les arrels durant el seu transport i manipulació fins a la plantació. No es recomana utilitzar bosses perquè poden provocar enrotllaments de l'arrel. Els substrats acostumen a ser mescles de 80% torba i 20% vermiculita, torba i perlita (3:1 en volum) o escorça de pi compostada (Domínguez, 2001). A Israel s'utilitza *Sphagnum* com a substrat, amb excel·lents resultats (Loewe i Delard, 2016), ja que aporta aireació, retenció d'humitat i permet l'extensió del sistema radicular.



Figura 8: Plàntules de *P. pinea* de 27 dies (esquerra), 41 (centre) i 93 (dreta) des de la seva sembra. Font: (Loewe i Delard, 2012)

En quant a fertilització de les plàntules, en general s'apliquen els coneixements de producció viverística de coníferes i doncs, s'aporta fòsfor per induir el creixement del sistema radicular. A Portugal fertilitzen aplicant nitrogen i fòsfor (Loewe i González, 2012). Els fertilitzants d'alliberació lenta són una bona opció. També cal controlar el reg.

Adicionalment, pot ser una opció d'interès realitzar micorizacions controlades en els vivers, a través d'inoculació de les arrels amb espores o miceli de fong micorízic i així millorar la qualitat del sistema radicular i del creixement aeri (Quiróz et al., 2011). *P. pinea* pot formar associacions amb micorizes ectotròfiques de diverses espècies, com *Laccaria laccata*, *Boletus granulatus* o *Suillus collinitus*, algunes d'elles juguen un paper important en l'absorció de fòsfor i el desenvolupament sobre sòls pobres o calcaris (Loewe i Delard, 2012).

Després d'un any des de la sembra les plantes arriben a alçades de 15-21 cm i 5mm de diàmetre de coll aproximadament i ja estan llestes per plantar-se a camp si provenen de contenidor (Loewe i Delard, 2012). Cal realitzar la plantació amb el coll de la planta a ras de terra, si no es pot endarrerir el creixement. Alhora de plantar s'ha de fer en solcs si es tracta de terrenys arenosos, perquè les plantes puguin accedir a més humitat de les capes baixes, en canvi, en terrenys argilosos la planta s'ha d'instal·lar en cavalló, per evitar la seva inundació (Loewe i Delard, 2012).

Per parlar de les produccions de pinyons en arbres de llavor s'ha analitzat sobretot la producció en pinedes naturals. Els assajos experimentals fets amb arbres no empeltats són escassos. La producció mitjana de pi pinyer als boscos d'Espanya està entre 200 i 600 kg de pinya/ha cada any, que equivalen a 10-30 kg de pinyó (Bono i Aletà, 2013). A Catalunya, les produccions mitjanes de pinya de les pinedes de pi pinyer són superiors que a la mitjana estatal, amb valors de 750 kg/ha per a masses clares i 285 kg/ha en masses denses (Piqué, 2009). A Itàlia els rendiments anuals són de 500-1.500 kg/ha (Loewe i Delard, 2012). No obstant això, els rendiments poden variar enormement a nivell individual per arbre, des de 0 pinyes fins a 300-500 kg de pinya/arbre.

En els pins pinyers de llavor la fase juvenil no és productiva i pot durar uns 20 anys, cosa que s'evita en pins empeltats, ja que s'empelten amb material vegetatiu madur (Mutke et al., 2007). Normalment es té una collita abundant cada 3-4 anys, sent òptima al voltant dels 40 anys (Loewe i González, 2007). Els bons rendiments en producció es mantenen fins als 50 anys, disminuint després fins a aturar-se als 80 anys.

4.2. Avantatges

El principal avantatge de realitzar plantacions de pi pinyer a partir de llavor és el seu baix preu en comparació amb els arbres empeltats, que són 10 cops més cars (Loewe i Delard, 2012). L'activitat dels vivers que produeixen planta de llavor és més senzilla que els que fan empelts. Cal menys material i és un mètode senzill per generar arbres. Els empelts necessiten de mà d'obra experimentada ja que seran l'agent clau que determini l'èxit o el fracàs de l'empeltat.

Aquesta facilitat que ofereix la llavor és crucial sobretot per a zones poc tecnificades o amb pocs recursos, on no hi ha sector pinyer potent com per procurar planta empeltada o pues als productors. Utilitzar plantes de llavor és interessant per als productors amb poca capacitat de gestió, poc capital disponible o poca disponibilitat de mà d'obra. A més s'ha demostrat que les llavors de pi pinyer tenen un comportament uniforme alhora de germinar, fins i tot en condicions d'estrès hídric, no com altres espècies de pi, que tenen una resposta més variable (Chambel et al., 2007).

Un altre avantatge seria el major percentatge d'èxit de les llavors en comparació amb els empelts, sobretot si són amb patrons d'una espècie diferent a *P. pinea*. El fet de poder plantar diverses llavors en un mateix forat garanteix que gairebé sempre tindrem almenys una plàntula allà on vam sembrar i es poden homogeneïtzar més fàcilment els marcs de plantació o densitats.

Per últim un altre possible avantatge seria la possibilitat de fer entrecreuaments controlats entre individus que interressi creuar per generar nous genotips. En molts altres cultius sí que es fan

entrecreuaments i la millora que s'ha aconseguit ha estat molt satisfactòria. La pol·linització anemòfila del pi pinyer dificulta un entrecreuament controlat, però es podrien trobar solucions per evitar pol·linitzacions no desitjades o desconegudes. A més, també és habitual en les espècies llenyoses silvestres que hi hagi una alta heterozigosi i un llarg temps generacional, fets que dificulten basar-se en la via sexual (Mutke et al., 2003).

4.3. Inconvenients

L'inconvenient més rellevant dels pins pinyer de llavor és la seva menor producció quan els comparem amb els pins empeltats, per a un mateix període i edat (Mutke et al., 2005a). En múltiples experiències i a molts països ha quedat demostrat que l'empelt afavoreix una major producció significativa i aquest fet és molt important alhora de veure si la plantació que es vol realitzar serà viable econòmicament o no.

Relacionat amb això també està el fet que l'entrada en producció dels arbres de llavor és més lenta que la dels arbres empeltats, la qual cosa fa menys interessant la primera opció als productors, que trigaran 10-15 anys més en obtenir les primeres produccions rellevants. Recordem que els pins de llavor poden trigar 20 anys en fer la primera producció, en canvi, els empeltats no triguen més de 5-10 anys. Això es deu a que amb l'empelt s'utilitza una pua madura que ja ha passat l'etapa juvenil no productiva i de creixement, mentre que els arbres de llavor encara han de passar aquesta etapa (Guadaño i Mutke, 2016).

Els pins de llavor també acostumen a ser arbres més vigorosos i amb un creixement més accelerat abans de començar la producció. Aquest fet dificulta la recollida de les pinyes si l'altura és excessivament elevada.

5. Plantacions a partir d'arbres empeltats

5.1. En què consisteix

Degut a l'interès de la producció de pinyons de *P. pinea*, les plantacions de pins pinyers empeltats per tal de tenir una producció abundant de pinyes poden ser una alternativa viable i interessant per restaurar i valoritzar algunes àrees mediterrànies, generant beneficis econòmics i ecològics. La tècnica de l'empelt consisteix en implantar en els teixits d'un organisme vegetal (anomenat patró o portaempelt) el teixit d'un altre individu (anomenat pua), de forma que es fusionin i continuïn el creixement com a una única planta. Aquesta planta té un sistema radicular aportat pel patró i una part aèria aportada per la pua, mantenint els caràcters genètics dels dos individus. Aquesta tècnica és habitual en la producció d'arbres fruiters. Existeixen antecedents de l'ús d'empelts en pi pinyer des del segle XVIII (Prada et al., 1997), on empeltaven amb èxit pi pinyer sobre pi blanc, i s'usa des de fa dècades a nivell experimental (Catalán, 1990; Gil i Abellanas, 1989).

La tècnica de l'empelt en *P. pinea* es va consolidar en les darreres dècades del segle XX (Balaguerías, 1971; Baudín, 1967; Gil et al., 1986). Amb aquesta eina es van iniciar els primers programes de multiplicació a Espanya i a Portugal. Cap als anys 60, a Valladolid i Madrid, va sorgir el mètode de l'empelt en pins pinyers per tal d'avançar l'edat fisiològica dels arbres

(Loewe i González, 2012). A principis dels anys 70 es van realitzar a Múrcia, amb èxit notable, empelts de guia terminal amb pues de *P. pinea* i patrons de la mateixa espècie i *Pinus halepensis* (Parra, 1980). Als anys 80 altres experiències amb patró de pi blanc es van realitzar a la província de Castelló (Abellanas, 1990; ESCRICH, 2001; Jurado, 2009). A Andalusia es van repoblar pinedes de pi pinyer amb empelt homoblàstic cap als anys 90 (Castaño et al., 2004).

Actualment, els empelts supervivents de les plantacions dels anys 60 estan en fase productiva i les produccions mitjanes són superiors a les de les masses naturals, encara que no es lliuren del caràcter anyívol (Mutke et al., 2000). Com que aquesta plantació, a l'igual que moltes altres, va quedar descuidada per la falta de continuïtat, els resultats no són acceptables perquè va faltar un maneig adequat de la plantació després de l'empelt. No es van retallar les branques basals del patró i això va debilitar l'empelt, tampoc van eliminar-se els empelts que no havien prosperat. La excessiva densitat va fer que les capçades no es desenvolupessin en amplada i la productivitat no sigui singular. Almenys aquesta experiència ha servit per confirmar que no hi ha problemes de rebuig de l'empelt a llarg termini i que la pol·linització transcorre de forma natural (Guadaño i Mutke, 2016).

El coneixement sobre el pi pinyer com a cultiu en plantacions empeltades està incrementant-se degut a la recerca que hi ha en procés. Les plantacions a les zones rurals podran produir més pinyons en un futur que el que produeixen en boscos naturals. Això pot contribuir al desenvolupament rural i a donar llocs de treball a les comunitats locals. Els empelts de pi pinyer, al procedir de pues recol·lectades de la part superior de la capçada, manifesten durant els primers anys una tendència a produir només cons femenins, de manera que es recomana garantir la presència de pins pinyers adults al voltant de la plantació per no tenir problemes amb la pol·linització (Catalán, 1990). No obstant això, en alguns assajos s'ha comprovat que als 5 anys de l'empelt ja apareixen els dos tipus de cons, de manera que no és un problema generalitzat (de la Mata et al., 2019). El pi pinyer no produeix arrels dels esqueixos ni permet empelts de fusta, ja que els teixits madurs del pi pinyer perden la capacitat de produir arrels. Els trossos han de ser obtinguts de pues terminals a inicis de primavera, quan es mou la saba o d'altres teixits tendres (Mutke et al., 2000). L'ús de l'empelt requereix la poda de les branques del patró, ja que podrien fer perdre vigor a l'empelt o inclús rebutjar-lo. Als 2 anys des de la plantació ja s'haurien d'haver eliminat totes les branques per sota del punt d'empelt (Guadaño i Mutke, 2016).

Principalment la tècnica de l'empelt es realitza a la primavera amb substitució de la pua terminal (**Figura 9**), ja que és el mètode més adequat (Balaguerías, 1971; Baudín, 1967). Com que la ramificació de la espècie és monopòdica amb aquest empelt es garanteix que tota la capçada procedeix de la pua empeltada (Guadaño i Mutke, 2016). Aquest mètode consisteix en tallar la guia terminal del patró amb un tall diametral (fenedura) i col·locar la pua del clon seleccionat, quan s'iniciï el moviment de saba a la primavera. La pua ha de tenir una longitud de 4-6 cm i ha de ser de diàmetre similar al del patró. El càmbium del patró i la pua han de coincidir a la perfecció, i es col·loca una cinta per subjectar les dues parts i impermeabilitzar la unió (Loewe i Delard, 2012). Finalment, al cap de 30-40 dies es retira la cinta i es comprova que l'empelt s'hagi establert.

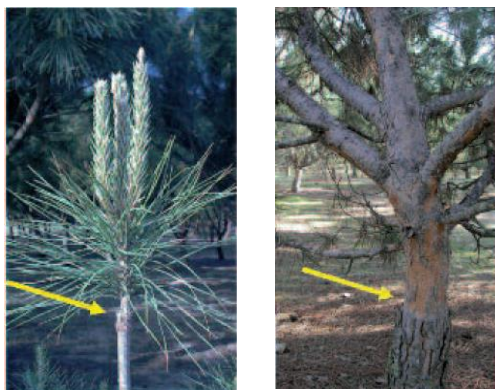


Figura 9: Empelt per substitució de la guia terminal en pi pinyer (esquerra). El punt d'unió segueix visible quan l'arbre és adult (dreta). Font: (Guadaño i Mutke, 2016).

Les pues s'han d'obtenir d'arbres adults amb bona producció frutera, prèviament seleccionats per una major grandària i fructificació (Carvalho et al., 2000). Les pues s'obtenen de la part superior de l'arbre, a la primavera en començar l'elongació, que és on surten els cons femenins i els brots més vigorosos (Castaño et al., 2004; Gil et al., 1986). S'han d'etiquetar i col·locar en sacs de plàstic perforat o draps absorbents humits, per evitar deshidratacions (Carneiro et al., 2007). També se'ls hi ha d'aplicar un producte antifúngic. Es conserven en llocs frescos, humits, foscos, amb la secció del tall en remull i posició vertical. Per empeltar amb èxit cal que les gemmes del patró estiguin més avançades que les pues (Castaño et al., 2004; Gil i Abellanas, 1989). L'altura de l'empelt no influeix en la producció (Loewe i González, 2012), en canvi, la qualitat de la pua és un factor molt important que sí que influeix en l'èxit de l'empelt i el desenvolupament de l'arbre (Guadaño i Mutke, 2016).

L'empelt es pot fer a camp o a viver, aconseguint la primera producció de pinyes al cap de 3-8 anys des de l'empelt. Els arbres donants de pua seran sempre de genotips catalogats com a material de base, per complir amb la legalitat i obtenir els beneficis que ofereix la seva selecció. La probabilitat d'èxit de l'empelt a camp és variable i depèn de les condicions climàtiques. L'empeltat directa a camp és més habitual en zones costaneres, on el clima és favorable per l'èxit de l'empelt. Els empelts fets a camp també són més complicats i impliquen més riscos. Requereixen que la plantació de pins patró tingui una altura entre 0,5 i 1,5 m, perquè resulti còmode l'empeltat. Aquestes altures es donen als 3-5 anys de l'arbre. Caldrà contemplar la disponibilitat de personal que realitzi l'empelt i la recepció de pua certificada en l'estat fenològic adequat.

A viver, en canvi, en general els empelts tenen més percentatge d'èxit i s'esperen entrades més precoces de producció, però també és un mètode més car (Morcillo et al., 2017). Els empelts fets a viver normalment es realitzen sobre planta de 2-3 anys (>5mm de diàmetre) i 1,5 m d'altura cultivada en contenidors grans, per a la seva posterior plantació a la tardor si la unió ha tingut èxit (Carneiro et al., 2007). El fet de fer els empelts a viver permet estandarditzar la producció i poder produir els empelts situats als llocs més idonis, encara que sigui lluny de la finca destí. S'acostumen a col·locar en hivernacles i s'aplica un adobat.

La gestió de les plantacions empeltades de pi pinyer és encara una gran desconeguda i les dades que s'aporten aquí pretenen clarificar aspectes bàsics a considerar en el moment de decidir-se per aquest tipus de plantacions. El preu d'una planta empeltada ronda els 2-3 € (Carneiro et al., 2007), un valor deu cops superior al de les plantes que provenen de llavor. De la mateixa manera que amb les plantacions de llavor, cal assegurar-se que el coll de la planta estigui a ras de terra ja que, d'enterrar-se més podria generar retards del creixement.

Les dades de producció de pinya en plantacions empeltades són heterogènies i difícilment comparables entre si, degut a la naturalesa de la plantació i les seves condicions (muntanya, bancs clonals, densitats, incidència de plagues,...) (Gordo, 2004). A trets generals però, es donen majors produccions de pinya en pins empeltats que en pins no empeltats. La **Figura 10** recull 3 escenaris teòrics per a la producció de plantacions de pi pinyer empeltat sobre *P. pinea*, en marcs de plantació 6 x 6 m, o sigui 278 arbres/ha.

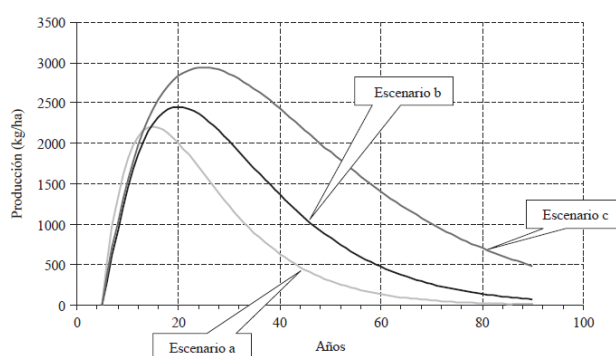


Figura 10: Producció anual de pinya segons tres escenaris possibles en pi pinyer amb empelt homoblàstic, en marcs de 6 x 6 m. Font: (Mutke et al., 2000)

Fins a edats de 15 anys la viabilitat tècnica sembla garantida en aquestes plantacions, desconeixent actualment la seva vida útil productiva abans d'entrar en fase de decrepitud (Mutke et al., 2000). L'*escenari a* és el més prudent o pessimista, amb un rendiment mitjà per hectàrea superior als 2.200 kg de pinya, valor que coincideix amb produccions observades a un banc clonal de Madrid (Sada et al., 2000). L'*escenari b* preveu un augment successiu de la producció mitjana fins a arribar als 20 anys amb 2.450 kg/ha, quasi 10 kg per arbre, i amb una caiguda de productivitat posterior més prolongada. L'*escenari c* és la predicció més optimista, que assumeix valors màxims trobats en parcel·les reals, no només com a valors extrems sinó com a possibles valors mitjans. El màxim tècnic s'ubica als 25 anys, amb 3.000 kg/ha.

Les dades de la gràfica no són una predicció precisa de la collita obtinguda sinó valors de la mitjana mòbil de la seva variabilitat. Són supòsits bastant prudents. Es podrien plantejar escenaris més optimistes encara. Els torns òptims per a l'*escenari a*, *b* i *c* són, respectivament, 35, 45 i 60 anys. Les plantacions empeltades presenten uns torns òptims molt més reduïts que els habituals per aquesta espècie quan provenen de llavor.

Les plantacions empeltades de pi pinyer, inclús a l'*escenari* més prudent, superen en rendibilitat a les reforestacions tradicionals fetes a partir de llavor, així com als cultius agrícoles tradicionals com l'ordi en secà. La rendibilitat de les plantacions empeltades es fonamenta en els ingressos i

costos que genera i no en les ajudes comunitàries, com passa molts cops amb les reforestacions tradicionals o alguns cultius de secà. Les subvencions obliguen, des d'un punt de vista econòmic, a tallar les pinedes no empeltades a unes edats irracionals des del punt de vista silvícola. Això s'anomena "cultiu de subvencions" (Mutke et al., 2000).

L'*Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries* (IRTA) porta des del 2007 instal·lant assajos a la finca de Torre Marimon (Caldes de Montbui) per avaluar el comportament productiu del pi pinyer sota diferents tractaments agronòmics. A Espanya hi ha les plantacions empeltades de pi pinyer a camp, freqüentment sense traçar la identitat genètica de la pua empeltada; i els bancs clonals, lligats a programes de millora. La majoria d'estudis detallats de la producció de pinyes només s'han fet en plantacions joves, de manera que no es disposa d'informació més enllà dels 10-15 anys (Piqué, 2009).

5.2. La rellevància del patró o porta-empelt

La influència dels patrons és un factor molt important en els programes de cultiu de certes espècies forestals, tot i que encara no es coneix tanta informació de patrons per a pi pinyer com sí que es coneix en arbres fruiters. Algunes de les aplicacions més destacades dels efectes dels patrons són l'increment de la floració, el control sobre el vigor, les pautes de creixement i maduració, el color i la qualitat de la fruita, la resistència a malalties o l'adaptació a diferents ambients. La tècnica de l'empelt permet tractar el pi pinyer de forma intensiva com es fa amb les espècies fruiteres més típiques (Guadaño i Mutke, 2016). En principi no s'han observat alteracions del sabor del pinyó en funció de l'espècie patró (Loewe i Delard, 2012).

5.2.1. Empelts homoblàstics

Els empelts homoblàstics són aquells en els que s'empelta una espècie sobre la mateixa espècie, en aquest cas *P. pinea* sobre *P. pinea*. Els empelts homoblàstics fets a camp tenen un èxit del 60-80%, mentre que els fets sobre pi blanc, per exemple, un 50% (Aletà i Piqué, 2020). A viver els percentatges són superiors però sempre es dona més èxit en empelts homoblàstics que en heteroblàstics. L'èxit de l'empelt és relatiu i depèn sobretot de l'habilitat de l'operari que realitza els empelts (Loewe i Delard, 2012).

En quant a valors de producció dels arbres amb aquest tipus d'empelt, hi ha hagut experiències que al 5è any de plantació la producció, en secà, era de 200-300 kg de pinya/ha i als 10 anys, 500-1.500 kg/ha (Piqué, 2009). Altres estudis tenen resultats similars, amb produccions mitjanes anuals de pinya, entre els 7 i els 11, de 906 kg/ha, comptant l'efecte de *Leptoglossus occidentalis* (de la Mata et al., 2019). Si extrapolem les dades de producció dels arbres engabiats (no afectats per l'insecte) la producció mitjana anual s'estimaria en 1.738 kg/ha de pinya, entre els 7 i 11 anys. En un altre assaig similar realitzat a Andalusia la producció anual de pinya en arbres amb empelts homoblàstics entre 8 i 11 anys va ser de 525 kg/ha (Castaño et al., 2004). A Portugal els arbres empeltats comencen la producció als 5-6 anys, i als 8 ja arriben a 2.000 kg/ha (Loewe i González, 2012). En definitiva, les plantacions empeltades són clarament viables productivament, amb una producció estimada de més de 1.700 kg/ha a l'edat de 10 anys (**Figura 11**), en absència de danys biòtics, i superen àmpliament les produccions en condicions de massa forestal. En marcs de 6 x 6 m els millors pins empeltats rendeixen, en anys bons, collites de 12-

15 kg de pinya, als 10 anys de plantació (Mutke et al., 2007). Si fos la mitjana general correspondria a valors teòrics de 3.000-4.000 kg de pinya/ha. Però en general no és així pel caràcter anyívol de l'espècie i la variabilitat de producció entre arbres.

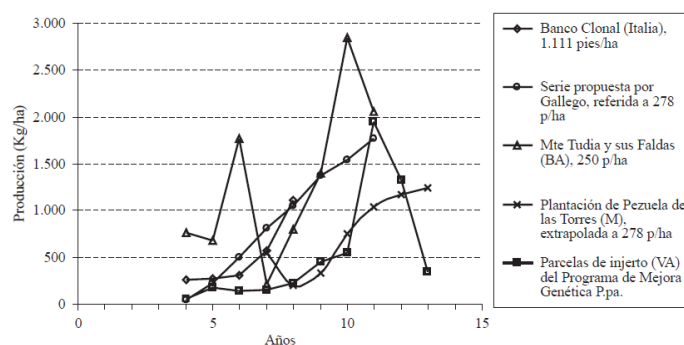


Figura 11: Sèries temporals de producció de pinya en parcel·les empeltades (empelts homoblàstics) en diferents assajos espanyols. Font: (Mutke et al., 2000)

5.2.2. Empelts heteroblàstics

Els empelts heteroblàstics corresponen a aquells en que una espècie és empeltada sobre un patró d'una altra espècie diferent. L'èxit d'aquests tipus d'empelts és inferior que ens els homoblàstics (Climent et al., 1997), no obstant això la supervivència posterior al camp sol ser similar. Les pinyes i pinyons que s'obtenen d'aquests empelts tenen una grandària acceptable i estan dins d'un rang normal de variació de l'espècie (Catalán, 1990). Algunes experiències d'empelt entre diferents espècies de *Pinus* han mostrat produccions més precoces i abundants que quan s'empeltaven sobre la mateixa espècie; i la fluctuació interanual era menor (Climent et al., 1997), però també depèn molt del tipus de terreny. També és interessant avaluar com afecta el patró en el diàmetre de capçada i tronc, el nombre de branques, la dominància apical o la llargada de les acícules ja que són paràmetres que determinen en bona part la producció. Segons un estudi, per exemple, la llargada de les acícules en diferents empelts de *Pinus* té relació amb una major producció, ja que s'atribueix a un major nivell fotosintètic a les branques (Ahlgren, 1972).

Les experiències que hi ha hagut fins d'empelt heteroblàstics bàsicament s'han fet amb *P. halepensis*, ja que s'ha utilitzat des de fa segles en zones calcàries. També s'ha empeltat amb èxit *P. pinea* sobre *P. nigra*, *P. roxburghii*, *P. radiata*, *P. ponderosa*, *P. contorta*, *P. sabiniana* i *P. pinaster* (Loewe i Delard, 2016), però hi ha poca informació al respecte. En aquest treball principalment es comentarà l'empelt sobre *P. halepensis* i *P. nigra*, que estan actualment sota estudi en assajos a l'IRTA. Cal tenir present que la utilització de patrons de pi pinyer és encara molt desconeguda. Se sap que es pot empeltar i quins patrons són més aptes o no per a certs tipus de sòl però la resta d'atributs (vigor, ramificació, producció,...) encara s'han d'estudiar amb profunditat i descriure.

Els empelts de *P. pinea* sobre *P. halepensis* han servit per incrementar la producció de pinyons en sòls calcaris o calcari-argilosos de la regió mediterrània (Catalán, 1990). Aquest fet pot tenir potencial per estendre el cultiu de pinyons en comarques amb sòls marginals. En aquests sòls calcaris la situació és més desfavorable per al sistema radicular de *P. pinea*, que creix millor en

zones arenoses on existeixen masses forestals naturals o antigues de pi pinyer. No obstant això, en altres terrenys més favorables pel pi pinyer hi ha estudis que afirmen un menor desenvolupament dels arbres empeltats sobre *P. halepensis* en comparació amb els homoblàstics, on els primers feien una capçada més petita i una producció molt més reduïda (la quarta part) (Bono et al., 2013; Gordo et al., 2013). La producció de pinya més reduïda en empelts heteroblàstics es devia no només a un menor desenvolupament de la capçada, sinó també a una producció menor per diàmetre. En empelts sobre *P. halepensis* la primera collita seria a la temporada del setè al vuitè any d'haver fet la plantació, una mica més tard que en empelts homoblàstics. En plantacions de pi pinyer sobre *P. halepensis* la producció mitjana anual de pinyes durant els primers 5 anys productius estaria al voltant de 200 kg/ha (incrementant-se en els següents anys), amb marcs de plantació 5 x 5 (Catalán, 1990). Aquests rendiments observats podrien millorar mitjançant seleccions successives de clons estudiats. La producció mitjana anual de pinya entre els 7 i els 11 anys s'ha estimat, en secà, en 711 kg/ha per a empelts de pi pinyer sobre pi blanc, comptant l'efecte de *Leptoglossus occidentalis* (de la Mata et al., 2019). Recordem que en el mateix assaig i en la mateixa edat els arbres amb empelt homoblàstic produïen 906 kg/ha. Tot i això, encara no queda clar si és millor produir empelts amb patró de *P. pinea* o *P. halepensis*. Centres d'investigació com l'IRTA a Catalunya o l'INRGREF a Tunísia estan avaluant aquests dos tipus d'empelt en assajos actualment. A dia d'avui encara no s'ha arribat a resultats definitius ja que les experiències passades no avaluaven els efectes dels patrons sota les mateixes condicions.

Pinus nigra és una espècie que també podria ser interessant com a patró. Hi ha hagut experiències on el patró de *P. nigra* ha donat bons resultats per a *Pinus sabiniana*, per exemple (Cuadros i Francia, 1993). Actualment no hi han resultats sobre la producció de *P. pinea* sobre *P. nigra*, però a l'IRTA hi ha assajos en marxa per dilucidar aquesta qüestió. Fa uns anys Monteuis i Barnéoud (1991) van recomanar empeltar pi roig sobre *P. nigra* per incrementar el vigor de la planta, particularment en sòls calcaris, que és on s'acostuma a situar la pinassa. Encara que els boscos de pinassa són d'escassa fructificació.

A Xile s'han fet assajos amb patró de *P. radiata* amb bons resultats productius, però en canvi, es redueix la resistència a la sequera característica del pi pinyer (Loewe i Delard, 2012). Es sap que *P. pinaster* és molt susceptible al nematode *Bursaphelenchus xylophilus*, que provoca la malaltia del marciment del pi, mentre que *P. pinea* resisteix molt bé a aquest nematode (Nunes da Silva et al., 2015).

Les altres espècies de patrons de *Pinus* que s'han esmentat anteriorment també poden donar resultats productius interessants i cal conèixer millor el seu comportament en diferents tipus de sòl per saber escollir la millor opció en el lloc on volem iniciar el cultiu de pi pinyer.

5.3. Avantatges

La tècnica de l'empelt permet augmentar i avançar la producció de pinyons, ja que té l'avantatge d'utilitzar material vegetatiu adult i permet a les plantacions entrar en producció en poc temps (3 anys en empelts homoblàstics), en comparació amb la dilatada fase d'espera d'almenys 20 o 30 anys en pinedes sense empeltar (Mutke et al., 2001). Els empelts també faciliten la collita durant els primer anys (i redueixen el seu cost), gràcies a la menor altura dels arbres, ja que des

dels primers anys una part important dels recursos es desvia a la fructificació en comptes del creixement llenyós (Mutke et al., 2007). També es produeix que l'arquitectura de les capçades dels pins empeltats són més obertes, com si es tractés de la capçada en forma de para-sol d'un pi adult (**Figura 12**), i això afavoreix la producció. Al haver empeltat una pua adulta sobre un patró jove gairebé a altura del terra, la capçada que en deriva d'aquesta guia manté el patró de ramificació en forma de canelobre de la part alta de la capçada adulta de la qual procedeix (Guadaño i Mutke, 2016).

Els empelts també poden ajudar a revalorar camps de conreu abandonats o en restauració d'àrees degradades o afectades per incendis, ja que de forma extensiva pot donar bones produccions i els requeriments serien escassos.



Figura 12: Comparació de l'alçada i la forma de la capçada entre pi pinyer empeltat (esquerra) i de llavor (dreta), als 13 anys d'edat i marc de 6 x 6 m. Font: (Guadaño i Mutke, 2016).

L'ús de l'empelt permet utilitzar genotips seleccionats per la seva major producció, tamany de pinya i rendiment, obtinguts després de dècades d'avaluar clons empeltats en diferents assajos. Utilitzar material seleccionat genèticament permet traspasar material de base excel·lent i controlat a les plantacions de forma fàcil mitjançant l'empelt. Aquets clons han d'estar autoritzats com a material base segons la normativa que reguli la producció de material forestal de reproducció. La posada en marxa de plantacions amb genotips seleccionats té cicles d'explotació més curts, regulars i intensius que les pinedes tradicionals (Gil i Abellanas, 1989).

Els diferents patrons que es poden utilitzar permeten adaptar el pi pinyer a diferents terrenys que no podria ocupar sense estar empeltat. Aquest fet permet ampliar el rang territorial potencial d'utilització de l'espècie (Guadaño i Mutke, 2016). Inclús es podria fer selecció genètica amb els patrons, mirant de veure quins donen un millor desenvolupament radicular en diferents sòls.

5.4. Inconvenients

Els pins pinyers empeltats suposen un major preu en comparació amb els que es planten de llavor. La tècnica de l'empelt requereix una major atenció perquè tingui èxit i més infraestructura ja que calen patrons i pues per separat, així com garantir les correctes condicions perquè es formi el call de l'empelt. A més cal tenir personal especialitzat que dugui a terme empelts de la forma correcta i minimitzi els empelts fracassats. L'èxit de l'empelt és menor que l'èxit de la germinació de la llavor.

Un dels altres inconvenients és gestionar les baixes un cop realitzada la plantació, ja que pot donar-se que els primers anys no tots els arbres sobrevisquin a la parcel·la i ens deixin una taca buida en la superfície. En empelts fets directament a camp es dona amb més freqüència que no en empelts fets a viver. Es poden replantar amb nous arbres però perdem la uniformitat de la parcel·la.

Per últim es pot destacar que les plantacions empeltades tenen menys anys productius que les provinents de llavor, però està en el rang normal de vida útil de les plantacions típicament fruïteres, de manera que no és excepcional respecte a altres cultius semblants.

6. El futur de les plantacions de pi pinyer

6.1. Cap a on ens dirigim

Per a produir pinyons en plantacions controlades, els productors i els investigadors hauran de d'invertir esforços en aconseguir certs objectius.

En primer lloc, és necessari conèixer millor les tècniques apropiades pel cultiu del pi pinyer i la selecció d'individus amb productivitat superior per tal de tenir una producció sostinguda, disminuir el caràcter anyívol, augmentar la producció, homogeneïtzar la qualitat i fer-los atractius en termes econòmics. Una bona solució per aquells terrenys de cultiu abandonats seria dedicar-los a plantacions de cultius forestals que comencin a produir beneficis al cap de pocs anys d'haver-se implementat, com el pi pinyer. Actualment no hi ha plantacions comercials en plena producció a Espanya, i les experiències portugueses estan encara més properes a una gestió forestal que agronòmica. Encara cal definir millor també el maneig òptim per a aquestes plantacions: densitat d'arbrat, podes, fertilització, reg, etc. (Guadaño i Mutke, 2016). Tot i que les experiències contrastades sobre aquest tipus de plantacions encara són escasses, els resultats fins ara són esperançadors i amb una correcta execució de les plantacions les rendes podrien ser interessants.

Cal tendir cap a millorar els rendiments dels pinyons (més proporció de pinyons en pes per pinya) i que aquests siguin grans, tal i com requereix la indústria pinyonera (Calama et al., 2010).

En segon lloc, un dels reptes de la producció de pinyons serà el control efectiu de les plagues de les pinyes, especialment de *Leptoglossus occidentalis*. Com s'ha dit anteriorment, cal estudiar si hi ha clons que ofereixin major resistència a aquesta xinxa. També caldria controlar l'atac de dos larves perforadores autòctones d'Europa, el morrut *Pissodes validirostris* i l'arna *Dioryctria mendacella*.

El pi pinyer encara presenta moltes incògnites per a ser tractat coma espècie fruitera, però la seva capacitat adaptativa a la sequera i la resistència al fred la converteixen en una alternativa interessant en moltes zones mediterrànies amb poca disponibilitat d'aigua i sòls pobres, on no creixen altres espècies fructícoles. Per altra banda, respecte a la seva distribució natural, nombroses pinedes d'àrees costaneres es veuran amenaçades amb el canvi de l'ús del sòl degut a la pressió urbanística (Fady et al., 2008).

Per últim, cal investigar més en la millora dels patrons, de cara a saber quines espècies i clons són més adients per la diversitat de sòls que podem trobar en les àrees productives.

6.2. L'efecte del canvi climàtic

L'any 1896 el químic suec Svante August Arrhenius va publicar el primer treball científic sobre l'efecte hivernacle, on quantificava la contribució del diòxid de carboni a l'efecte hivernacle. Va especular que la concentració atmosfèrica del diòxid de carboni contribuïa a variacions en el clima. Arrhenius era conscient que la crema combustibles fòssils era una font potencial de diòxid de carboni i al cap d'un temps va suggerir explícitament aquesta conseqüència en posteriors treballs (Arrhenius, 1896). A dia d'avui, hi ha consens científic en reconèixer un augment accelerat de les temperatures per l'impacte de l'activitat humana. Aquest fet pot provocar l'extinció de moltes espècies del planeta. El pi pinyer no queda exempt d'aquesta amenaça i cal començar a pensar amb quin clima hauran de lidiar les pinedes del futur.

Les produccions de pinya s'han reduït en els darrers anys degut a una tendència climàtica cada cop més calorosa i seca (Mutke et al., 2005c). En un estudi es va observar un descens de producció de pinya en algunes parcel·les de la província de Valladolid de 180 a 100 kg/ha des dels anys 50 fins al 2005 (Mutke et al., 2005c). En aquell període la precipitació anual va disminuir en un 15 % i la primavera un 30% (Mutke et al., 2005b). La baixa disponibilitat hídrica limita molts anys el creixement dels organismes, de manera que l'escalfament global i els canvis en el règim de precipitacions registrades en les darreres dècades poden portar conseqüències ecològiques i econòmiques importants per al sector forestal (Mutke et al., 2005b). En els darrers anys també han augmentat les sequeres extremes a nivell global (Freire et al., 2019), de manera que cal seleccionar els arbres que resisteixin millor a la manca d'aigua i adaptar el maneig silvícola per reduir les densitats de plantació.

Els incendis forestals cada cop seran més freqüents i severs (Freire et al., 2019), de manera que caldrà netejar millor el sotabosc sec (amb el pastoreig es pot fer) i introduir discontinuïtats verticals per reduir l'afectació de les capçades, que tenen efectes més devastadors que els incendis en superfície. L'extensió dels focs es pot reduir amb discontinuïtats horitzontals també.

A Espanya la temperatura mitjana ha augmentat en 1,5 °C entre el 1970 i el 2000 (Ayala, 2004). Si aquestes tendències climàtiques cap a l'africanització del clima peninsular (Ayala, 2004) es mantenen, la collita mitjana esperada de pinya seguirà disminuint. En pinedes marginals ni tant sols està assegurada la regeneració natural perquè cada cop és més improbable que coincideixin anys bons de producció amb condicions ambientals favorables després per a la supervivència de les plàntules (Gracia et al., 2005), de manera que es poden reduir les àrees de distribució de l'espècie. Molt abans de comprometre la pròpia persistència de les pinedes com a formació forestal, la disminució de la producció de pinya farà que no sigui rendible la seva

recollida als boscos. La temperatura mitjana global incrementarà en 4-7°C, segons les prediccions, durant el segle XXI (Mutke et al., 2003).

Per altra banda, l'escalfament global comporta altres efectes, com l'avançament de la fenologia primaveral que farà que els individus siguin més vulnerables a esdeveniments extrems com les gelades. Els models de dependència climàtica en atributs biològics, com la fenologia o la producció, han posat atenció en l'impacte del canvi climàtic sobre els ecosistemes i agroecosistemes (Badeck et al., 2004; Mutke et al., 2003; Saxe et al., 2001; Wright et al., 1999). El pi pinyer normalment escapa de les gelades tardanes ja que floreix a finals de maig o principis de juny. Però en anys anòmals com el 1997, amb primaveres molt caloroses, tot el desenvolupament pot avançar-se varies setmanes, exponant els cons a les ocasionals gelades tardanes.

La part esperançadora és que alguns articles (Freire et al., 2019; Paoletti, 2005) han demostrat que les espècies forestals típicament mediterrànies, entre elles el pi pinyer, mostren adaptacions que les protegeixen davant l'augment de radiació ultraviolada UVB. Tenen adaptacions naturals a l'estrès hídric i l'excés de llum (pèls a la fulla, cutícula gruixuda, ...) i respostes a les radiacions ultraviolades (engrossiment de la cutícula o augment de carotenoides) per evitar els danys. Tot i això, caldrà fer front al canvi climàtic i gestionar les pinedes naturals i les plantacions per minimitzar els problemes que vindran.

7. Proposta de plantació

A mode de resum, en aquest apartat es fa una proposta de plantació on s'expliquen quines decisions i tècniques cal aplicar, segons el criteri de l'autor, atenent a la informació que s'ha explicat anteriorment. No es tracta de detallar un projecte de plantació real, si no explicar breument com podria ser un exemple de plantació de pi pinyer, a través de les recomanacions que l'autor d'aquest treball faria.

Un bon emplaçament per a una plantació seria, per exemple, alguna finca de la localitat de Dosrius, situat a la comarca del Maresme, a Catalunya. Dosrius és un municipi que es troba a la Serralada Litoral, en una zona on el pi pinyer es troba de forma natural. El sòl d'aquesta zona té una textura franco-arenosa o franca, amb bon drenatge. Estan desenvolupats a partir de roques granitoides, pissarres i esquists, amb un pH lleugerament àcid o neutre i contingut baix en carbonat càlcic ("Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya," 2019). Cal escollir una finca que tingui poc pendent i sempre que es pugi, que estigui a prop d'àrees amb individus adults de pi pinyer, per tal de garantir pol·len si els cons masculins apareixen anys més tard que els femenins. Dosrius té una temperatura mitjana anual de 14°C i una precipitació anual de 600 mm, segons dades dels darrers 5 anys; dos paràmetres favorables per al pi pinyer ("RuralCat," 2020).

Es podria haver escollit moltes altres localitats del Maresme amb característiques semblants a les de Dosrius on seria apte una plantació de pi pinyer, com per exemple Òrrius, Cabriels, Argentona o Sant Andreu de Llavaneres. Són també localitats que toquen la Serralada Litoral amb pinedes de pi pinyer als voltants i on hi ha activitat agrícola. L'elecció de Dosrius és simplement per seleccionar un exemple concret.

El gràfica de la **Figura 13** mostra un diagrama ombrotèrmic que inclou l'evapotranspiració de referencia a Dosrius, amb valors compresos entre l'any 2015 i el 2019.

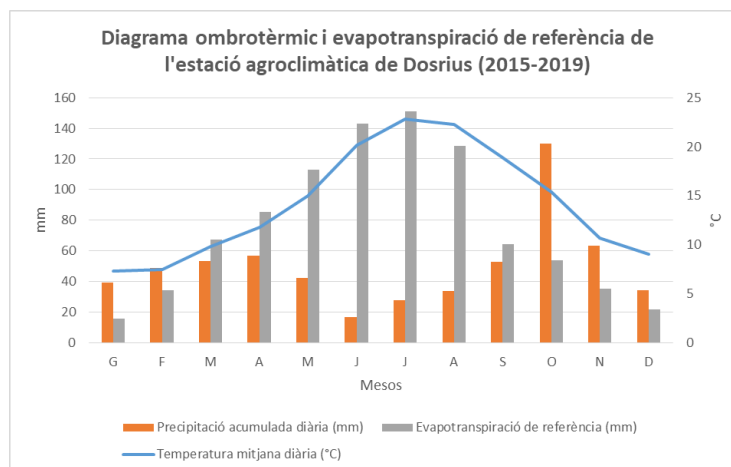


Figura 13: Diagrama ombrotèrmic i evapotranspiració de referència de l'estació agroclimàtica de Dosrius, entre 2015-2019. Font: elaboració pròpia a partir de dades de ("RuralCat," 2020)

Com a material vegetal es recomana fer servir empelts homoblàstics de pi pinyer, degut a la seva producció superior i precoç respecte als pins provinents de llavor. Abans s'han analitzat quins són els avantatges i inconvenients dels pins pinyers de llavor i d'empelt. Cada opció pot ser interessant segons com es vulgui mantenir la plantació. En aquesta proposta suposem que es vol maximitzar la producció per obtenir el màxim benefici econòmic de la parcel·la. Això suposa plantejar la plantació com a cultiu intensiu, amb tècniques de fructicultura, i controlar els factors agronòmics que determinin la seva producció, perquè aquesta sigui alta.

La parcel·la tindria 4 ha de superfície, amb marcs de plantació de 6 x 6 m (278 arbres/ha), que facilitin el pas de la maquinària. De manera que en total hi hauria 1.112 arbres. Per preparar el terreny es recomana passar amb l'aixada sobre la filera de plantació, així com retirar totes les restes del cultiu anterior. La plantació hauria de fer-se entre novembre i gener perquè puguin generar arrels abans d'estiu i la supervivència dels arbres no es vegi compromesa (Loewe i Delard, 2012). Com el tipus de sòl és arenós, és convenient plantar en solcs per proporcionar a les plantes més humitat i protegir-les del vent.

A part del pi pinyer es recomanaria combinar el seu cultiu amb alguna altra espècie que faci augmentar els beneficis nets de la plantació, emmarcat en un sistema agroforestal. Com a exemple, recomano utilitzar arbres amb inòcul de *Tuber borchii* a les arrels del patró, de manera que anualment es pogués recollir, entre novembre i març, la producció d'aquestes tòfones, molt valorades econòmicament. La tòfona de Borch necessita pluviometries de com a mínim 600 mm i pot començar a fructificar als 4 anys de la plantació, de manera que cal controlar el reg per aportar aquesta quantitat com a mínim i mantenir una producció sostinguda de tòfona (Morcillo et al., 2017). Tot i que la pluviometria de la zona ja és favorable per la seva producció, en un principi. Aquesta tòfona també creix bé en sòls arenosos com el proposat.

A falta de conèixer millor les possibles interaccions genotip x ambient haurien de mesclar-se el màxim número de clons diferents catalogats disponibles, i altament productius, alhora d'iniciar la plantació. D'aquesta manera la pròpia experiència del fructicultor permetrà avançar en la caracterització empírica del material genètic en les particularitats edafoclimàtiques de la seva finca. En canvi, si es fessin plantacions monoclonals es podrien donar autoincompatibilitats, tot i que no s'ha estudiat encara. La distribució espacial més adient seria col·locar els clons barrejats entre si de manera que s'evitin les autopollinitzacions, ja que podrien donar problemes de consanguinitat.

Com que la fertilització del pi pinyer encara no està gaire estudiada és recomanable fer un anàlisi del sòl per tenir en compte els elements concrets que estiguin en carència. Però com a criteri general es recomana aplicar fems o gallinassa per aportar matèria orgànica i nutrients al sòl, sobretot nitrogen, a més de fòsfor i potassi. A més, aquests fems o gallinassa acceleren la descomposició de la fullaraca.

Per tal de maximitzar la producció un aspecte clau és regar els arbres, sempre que les necessitats ho requereixin. Recomana instal·lar un sistema de reg per goteig per poder usar-lo quan els arbres ho necessitin. L'abastiment d'aigua es calcularia a través del càlcul de la dosi bruta, que depèn de la diferència entre la pluja i l'evapotranspiració del cultiu, de l'interval de reg i de l'eficiència d'aplicació. Amb una petita estació climàtica pròpia o d'una pública que estigui situada a prop (existeix una estació a Dosrius, amb dades d'accés públic) s'haurien d'enregistrar els valors de pluviometria i evapotranspiració de referència (ET_o) setmanals i així poder fer el càlcul de les necessitats d'aigua. L'evapotranspiració del cultiu (ET_c) es defineix com la pèrdua de vapor d'aigua del sistema per evaporació del sòl i superfície de la planta, i es calcula multiplicant ET_o pel coeficient de cultiu, K_c (Allen et al., 1998; White i Fisher, 1985). Cal abastir aigua sobretot durant els mesos de primavera, que són els més crítics per a la producció de pinyes. Els primers anys de plantació és important també mantenir un reg en els mesos estivals per tal que la planta desenvolupi un bon sistema radicular.

Un altre qüestió important és el maneig de les males herbes, sobretot quan els arbres són joves. Es recomana fer servir una arada de discs per incorporar la planta immediatament al sòl, un almenys un cop a l'any. És positiu mantenir herba entre fileres per tal d'evitar l'erosió del sòl i reduir despeses. Els arbustos sí que cal retirar-los a tota la parcel·la degut a que poden fer que l'arbre sigui més susceptible a infeccions i plagues.

En quant a poda, es recomana podar les branques baixes ja que fa que l'arbre sigui menys susceptible a plagues i malalties. També s'han de treure les branques fines de la porció inferior de la capçada per tal d'estimular la floració i les branques laterals que sobresurtin massa de la capçada.

En quant al control de *Leptoglossus occidentalis* caldria esperar a veure la seva presència a la plantació. Caldrà estar atents als mètodes de control que autoritzin les autoritats competents, ja sigui introduint algun tipus de parasitoide eficaç o algun producte regulat. També cal fixar-se en quins clons de la finca són menys susceptibles a l'insecte, de cara a utilitzar aquests clons en futures plantacions o ampliacions.

Per finalitzar, els valors productius que s'esperarien d'una plantació d'aquest tipus serien de 1.700 kg de pinya/ha cada any als 10 anys d'edat i de 2.500 kg /ha als 20 anys. Això, suposant

un rendiment en pinyó del 4%, equival a una producció de pinyons de 68 kg/ha i 100 kg/ha, respectivament. Aquests valors poden disminuir dràsticament amb l'atac de *Leptoglossus occidentalis* o altres plagues o malalties. En quant a tòfona, s'espera una producció de 30 kg/ha.

La **Figura 14** pretén il·lustrar una plantació semblant a la que es proposa, de mateix marc de plantació i amb instal·lació de reg per goteig.



Figura 14: Exemple de plantació de pi pinyer empeltat en marcs de 6 x 6 m, de 10 anys d'edat, situada a Caldes de Montbui. Font: (de la Mata et al., 2019)

S'ha fet una proposta de plantació concreta, amb interès econòmic pels productors, però també es podrien haver plantejat altres de vàlides. Tal com plantegen alguns estudis que s'han comentat anteriorment (Loewe i Delard, 2019; Mutke et al., 2007) es podria combinar la producció de pinyons i la producció cerealística de secà als carrers, entre les fileres d'arbres. Aquest sistema ha demostrat ser més rendible que els cultius de secà purs, de manera que es poden substituir camps de secà per aquesta alternativa. Sobretot durant els primers anys de plantació, quan les capçades dels arbres són petites es poden tenir produccions de cereal interessants. Inclús, en el cas de tenir *Tuber borchii* inoculat, els primers anys fins que no s'extregui tòfona es pot plantejar el cultiu cerealístic entre arbres.

8. Conclusions

Un cop comparades les plantacions de pi pinyer provinents de llavor amb les empeltades podem concloure que aquestes últimes són més adequades per aconseguir plantacions altament productives i rendibles. Els pins pinyers empeltats permeten tractar la plantació de forma més intensiva semblant a la d'altres arbres fruiters més coneguts. Aquest és un pas molt important en la domesticació del pi pinyer que pot interessar per als productors i pot regularitzar l'oferta de pinyons als mercats.

Les plantacions de pi pinyer també poden plantejar-se com a sistemes agroforestals que combinin produccions de diferents espècies amb interès econòmic i mediambiental, tal i com s'ha plantejat en la proposta de plantació.

No obstant això, encara cal invertir esforços en augmentar el coneixement productiu d'aquesta espècie, descriure quin és el maneig agronòmic més adequat, quins patrons són els òptims per a cada situació i continuar amb la selecció dels millors materials genètics per a una producció sostinguda i de qualitat.

Per últim, cal plantejar solucions davant les amenaces que hauran d'afrontar el pi pinyer i altres espècies vegetals, com l'escalfament global, les limitacions hídriques o l'atac sever de plagues i malalties.

9. Bibliografia

- Abellanas, B. (1990). *Estudios básicos para la mejora genética del pino piñonero (Pinus pinea L.): comportamiento reproductivo*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/307863992_Estudios_basicos_para_la_mejora_genetica_del_pino_pinonero_Pinus_pinea_L_Comportamiento_reproductivo
- Abellanas, B., Cuadros, S., Navarro, R., Oliet, J., Bastida, F., Butler, I., López, J., i Monteagudo, F. J. (1997). Programa de mejora de pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Andalucía. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 5, 57–66. Recuperat de <https://docplayer.es/52832663-Programa-de-mejora-de-pino-pinonero-pinus-pinea-l-en-andalucia.html>
- Ahlgren, C. E. (1972). Some effects of inter-and intraspecific grafting on growth and flowering of some five-needle pines. *Silvae Genetica*, 21, 122–126.
- Aletà, N. i Piqué, M. (2020). La recerca en pi pinyer per a producció de fruit a Catalunya. *Prepublicació*, 5.
- Allen, R., Pereira, L. S., Raes, D., i Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Roma: FAO Irrigation and Drainage Papers. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/235704197_Crop_evapotranspiration-Guidelines_for_computing_crop_water_requirements-FAO_Irrigation_and_drainage_paper_56
- Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41, 39. Recuperat de https://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf
- ASFOVA. (2004). El Pino Piñonero en España: Importancia, Necesidades y Potencialidad. Recuperat de <https://www.agrodigital.com/2004/09/08/asociacion-forestal-de-valladolid-el-pino-pinonero-en-espana-importancia-necesidades-y-potencialidad/>
- Ayala, F. J. (2004). La realidad del cambio climático en España y sus principales impactos ecológicos y socioeconómicos. *Industria y Minería*, 358, 10–15.
- Badal, E. (2001). La recolección de piñas durante la prehistoria en la Cueva de Nerja (Málaga). In V. Villaverde (Ed.), *De neandertales a cromañones, el inicio del poblamiento humano en las tierras valencianas* (pp. 101–104). Universitat de València. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/316240916_La_recoleccion_de_pinas_durante_la_prehistoria_en_la_Cueva_de_Nerja_Malaga
- Badeck, F. W., Bondeau, A., Böttcher, K., Doktor, D., Lucht, W., Schaber, J., i Sitch, S. (2004). Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*, 162, 295–309. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/228872672_Response_of_spring_phenology_to_climate_change
- Balaguerías, E. (1971). *Injertos en pinos*. Madrid.
- Baudín, F. (1967). Mejoras del pino piñonero (*P. pinea*) en Valladolid. *Montes*, 23, 215–219.
- Benito-Matías, L., Herrero, S. N., Jiménez, J., i Peñuelas, R. J. (2004). Aplicación de métodos colorimétricos para la determinación de la viabilidad en semillas de *Pinus pinea*: test de tetrazolio e índigo carmín. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 17,

- 23–28. Recuperat de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2978417>
- Bono, D. i Aletà, N. (2013). Cone yield evaluation of a grafted *Pinus pinea* L. trial. *OPTIONS Méditerranéennes*, 105, 7. Recuperat de <https://om.ciheam.org/option.php?IDOM=1010>
- Boutheina, A., Hedi El Aouni, M., i Balandier, P. (2013a). Influence of stand and tree attributes and silviculture on cone and seed productions in forests of *Pinus pinea* L. in northern Tunisia. *OPTIONS Méditerranéennes*, 105, 6. Recuperat de <https://om.ciheam.org/option.php?IDOM=1010>
- Boutheina, A., Hedi El Aouni, M., i Balandier, P. (2013b). Unravelling the influence of light, litter and understorey vegetation on *Pinus pinea* natural regeneration. *Forestry*, 86, 297–304. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/270770520_Unravelling_the_influence_of_light_litter_and_understorey_vegetation_on_Pinus_pinea_natural_regeneration
- Calama, R., Gordo, J., Mutke, S., i Montero, G. (2008). An empirical ecological-type model for predicting stone pine (*Pinus pinea* L.) cone production in the Northern Plateau (Spain). *Forest Ecology and Management*, 255, 14. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/223477469_An_empirical_ecological-type_model_for_predicting_stone_pine_Pinus_pinea_L_cone_production_in_the_Northern_Plateau_Spain
- Calama, R., Madrigal, G., Candela, J. A., i Montero, G. (2007). Effects of fertilization on the production of an edible forest fruit: stone pine (*Pinus pinea* L.) nuts in south-west Andalusia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 16, 12. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/28251861_Effects_of_fertilization_on_the_production_of_an_edible_forest_fruit_stone_pine_Pinus_pinea_L_nuts_in_south-west_Andalusia
- Calama, R. i Montero, G. (2007). Cone and seed production from Stone Pine (*Pinus pinea* L.) stands in Central Range (Spain). *Eur J Forest Res*, 1, 23–35. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/225805683_Cone_and_seed_production_from_stone_pine_Pinus_pinea_L_stands_in_Central_Range_Spain
- Calama, R., Tomé, M., Sánchez-González, M., Miina, J., Spanos, K., i Palahí, M. (2010). Modelling non-wood forest products in Europe: a review. *Forest Systems*, 19, 17. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/235004857_Modelling_Non-Wood_Forest_Products_in_Europe_a_review
- Cañellas, I., Finat, L., Bachiller, A., i Montero, G. (1999). Comportamiento de planta de *Pinus pinea* en viero y campo: ensayo de técnicas de cultivo de planta, fertilización y aplicación de herbicidas. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 8, 335–360. Recuperat de <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2749>
- Carneiro, A., Dalpuim, M., i Vacas De Carvalho, M. (2007). *Manual Ilustrado de Enxertia do Pinheiro Manso*. Recuperat de http://www.inia.pt/fotos/gca/manual_ilustrado_enxertia_do_pinheiro_manso_1369127188.pdf
- Carvalho, M., Dalpuim, M., i Carneiro, M. (2000). Silicultura do Pinheiro manso (*Pinus pinea* L.). *Primer Simposio Del Pino Piñonero (Pinus pinea L.)*, 1, 169–176.
- Castaño, J. R., Oliet, M. E., Abellanas, B., Butler, I., Cosano, I., Luengo, J., García, J., i Candela, J. A. (2004). *Puesta en valor de los recursos forestales mediterráneos: el injerto de pino piñonero (Pinus pinea L.)*. Junta de Andalucía. Sevilla. Recuperat de

<https://www.juntadeandalucia.es/servicios/publicaciones/detalle/45732.html>

- Catalán, G. (1990). Plantaciones de *Pinus pinea* en zonas calizas para la producción precoz de piñón. *Ecología*, 4, 105–120. Recuperat de <https://www.yumpu.com/es/document/view/14846233/plantaciones-de-pinus-pinea-en-zonas-calizas-para-produccion-/16>
- Chambel, M. R., Climent, J., i Alía, R. (2007). Divergence among species and populations of Mediterranean pines in biomass allocation of seedlings grown under two watering regimes. *Forest Science*, 64, 11. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/41713887_Divergence_among_species_and_populations_of_Mediterranean_pines_biomass_allocation_of_seedlings_grown_under_two_watering_regimes
- Climent, J., Prada, M. A., Gil, L., i Pardos, J. A. (1997). Increase of flowering in *Pinus nigra* Arn. subsp *salzmannii* (Dunal) Franco by means of heteroplastic grafts. *Annals of Forest Science*, 54, 9. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/236645811_Increase_of_flowering_in_Pinus_nigra_Arnsubsp_salzmannii_Dunal_Franco_by_means_of_heteroplastic_grafts
- Coello, J., Piqué, M., i Tusell, J. M. (2018). El projecte QUALITY PINEA: Innovació i millora de la competitivitat en la producció i l'aprofitament del pinyó de *Pinus pinea*. *Silvicultura*, 78, 4. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/328748442_El_projecte_QUALITY_PINEA_Innovacio_i_millora_de_la_competitivitat_en_la_produccio_i_l_aprofitament_del_pinyo_de_Pinus_pinea
- Costa, R. i Evaristo, I. (2008). *Condução de Povoamentos de Pinheiro Manso e características Nutricionais do pinhao*. Lisboa. Recuperat de http://www.inia.pt/fotos/gca/manual_do_pinheiro_manso_1369127663.pdf
- Cuadros, S. i Francia, J. R. (1993). *Pinus sabiniana* Dougl. ALTERNATIVA PRODUCTORA DE PIÑÓN COMESTIBLE Y COMPATIBILIDAD DE INJERTADO SOBRE DIVERSOS PATRONES (p. 6). Lourizán: Congreso Forestal Español. Recuperat de http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/15038
- de la Mata, R., Teixidó, A., Aletà, N., Torrell, A., Ros, L., i Segarra, M. (2019). *La producció de pinyons en plantacions empeltades. Resultats dels assaigs instal·lats a l'IRTA*.
- Domínguez, J. (2001). Estudio de producción de piñas y sus daños y la chinche del pino *Leptoglossus occidentalis* en Castilla y León. Matapozuelos (Valladolid): Encuentro Internacional sobre Plagas que afectan a la piña del Pino Piñonero (*Pinus pinea*).
- Escalona, A. (2005). *Estudio de componentes presentes en semillas de piñón (Pinus pinea) y michay (Berberis darwinii hook), factibles de utilizar en el desarrollo de alimentos funcionales*. Universidad de Chile. Recuperat de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/105439>
- Escrich, J. (2001). *Estudio sobre la floración de los injertos de Pinus pinea sobre Pinus halepensis en la parcela "Peña de Águila" (Castellón)*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Fady, B., Fineschi, S., i Vendramin, G. G. (2008). *Guía técnica para la conservación genética y utilización del pino piñonero*. Madrid. Recuperat de http://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Countries/Spain/Technical_guidelines/Pinus_pinea_ESP.pdf

- Fálder, A. (2004). Frutos secos y frutas desecadas. In *Enciclopedia de los alimentos* (pp. 117–135). Recuperat de https://www.mercasa.es/media/publicaciones/100/1292348368_DYC_2004_77_117_134.pdf
- Freire, J. A., Rodrigues, G. C., i Tomé, M. (2019). Climate Change Impacts on *Pinus pinea* L. Silvicultural System for Cone Production and Ways to Contour Those Impacts: A Review Complemented with Data from Permanent Plots. *Forests*, 10, 29. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/331168734_Climate_Change_Impacts_on_Pinus_pinea_L_Silvicultural_System_for_Cone_Production_and_Ways_to_Contour_Those_Impacts_A_Review_Complemented_with_Data_from_Permanent_Plots
- Ganatsas, P., Tsakalimi, M., i Thanos, C. (2008). Seed and cone diversity and seed germination of *Pinus pinea* in Strofyliia site of the natura 2000 network. *Biodiversity and Conservation*, 17, 2427–2439. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/226128949_Seed_and_cone_diversity_and_seed_germination_of_Pinus_pineain_Strofyliia_Site_of_the_Natura_2000_Network
- García-Fayos, P., Gullas, J., Martínez, J., Marzo, A., Melero, J. P., Traveset, A., Veintimilla, P., Verdú, M., Cerdán, V., Gasque, M., i Medrano, H. (2001). *Bases ecológicas para la recolección, almacenamiento y germinación de semillas de especies de uso forestal de la Comunidad Valenciana*. Banc de Llavors Forestals. Recuperat de http://www.cma.gva.es/areas/estado/bosques/bosq/banco_semillas/llavors.pdf
- Gil, L. (1999). La transformación histórica del paisaje: la permanencia y la extensión local del pino piñonero (p. 34). 1as Jornadas de Historia, Socio economía y Política forestal.
- Gil, L. i Abellanas, B. (1989). La mejora genética del pino piñonero. *Montes*, 21, 4–12.
- Gil, L., Pérez, B., i Palomar, J. (1986). *El injerto en los pinos*. Recuperat de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1986_20.pdf
- Girona, J. (2005). La respuesta del cultivo del almendro al riego. *Vida Rural*, 12–16. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/28282131_La_respuesta_del_cultivo_del_almendro_al_riego/link/542e89ba0cf29bbc126f2909/download
- Gonçalves, A. C. i Pommerening, A. (2012). Spatial dynamics of cone production in Mediterranean climates: a case study of *Pinus pinea* L. in Portugal. *Forest Ecology and Management*, 266, 83–93. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/251585756_Spatial_dynamics_of_cone_production_in_Mediterranean_climates_A_case_study_of_Pinus_pinea_L_in_Portugal
- Gordo, J. (2004). *Selección de grandes productores de fruto de Pinus pinea L. en la meseta norte*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperat de <http://oa.upm.es/179/>
- Gordo, J., Mutke, S., i Gil, L. (2000). La mejora genética de *Pinus pinea* L, en Castilla y León. *Primer Simposio Del Pino Piñonero (Pinus Pinea L.)*, 2, 21–32.
- Gordo, J., Mutke, S., i Gil, L. (2013). La relevancia de la especie de patrón portainjerto para el desarrollo de la copa y la producción de piña del pino piñonero injertado (p. 6). Vitoria-Gasteiz: Sociedad Española de Ciencias Forestales. Recuperat de <https://docplayer.es/86405943-La-relevancia-de-la-especie-de-patron-portainjerto-para-el-desarrollo-de-la-copa-y-la-produccion-de-pina-del-pino-pinonero-injertado.html>
- Gracia, C., Gil, L., i Montero, G. (2005). *Impactos sobre el sector forestal*. Recuperat de

https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/09_sector_forestal_2_tcm30-178500.pdf

- Gràcia, M. i Ordóñez, J. L. (2013). *Les pinedes de pi pinyer. Manuals de gestió d'hàbitats* (CREAF). Diputació de Barcelona.
- Guadaño, C. i Mutke, S. (2016). *Establecimiento de plantaciones clonales de Pinus pinea para la producción de piñón mediterráneo*. Madrid. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/310287648_Establecimiento_de_plantaciones_clonales_de_Pinus_pinea_para_la_produccion_de_pinon_mediterraneo_Monografias_INIA_Serie_Forestal_N_28
- Heth, D. (1983). Spot sowing of Mediterranean pines under shelter. *Forestry Division, Agricultural Research Organization, Ilanot, Israel*, 23–25.
- Iglesias, S. (1997). Programa de mejora genetica de *Pinus pinea*. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 5, 217–224.
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (2019). Recuperat de <https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-geologica-i-geotematica/Cartografia-de-sols/Mapa-de-sols-1-250.000>
- iStock. (2019, October 23). VIAempresa. *Pinyons, Els Reis Dels Panellets i La Castanyada*. Recuperat de https://www.viaempresa.cat/economia/pinyons-panellets-castanyada_2076686_102.html
- Jurado, N. (2009). *Estudio piloto para la recuperación de parcelas experimentales de Pinus pinea en la Comunidad Valenciana*. Universitat Politècnica de València.
- La Llotja de Reus. (2020). Recuperat de <http://www.llotjadereus.org/?go=e6598a7e63ddfde82f32b714cc0368d6c022eccdd349343b0c0e46d4b731cd6e1c886d143574bc931b8399a82f017635dbedd067cdf3bc6e>
- Lanner, R. M. (1989). An observation on apical dominance and the umbrella-crown of Italian Stone Pine. *Economic Botany*, 1, 128–130. Recuperat de <https://www.jstor.org/stable/pdf/4255138.pdf?seq=1>
- Loewe, V. i Delard, C. (2012). *Un nuevo cultivo para Chile, el pino piñonero (Pinus pinea L.)*. Santiago de Chile: Instituto Forestal. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/263100307_Un_nuevo_cultivo_para_Chile_el_Pino_Pinonero_Pinus_pinea_L
- Loewe, V. i Delard, C. (2014). Effect of irrigation in Growth and Fruit Production in Stone Pine (*Pinus pinea* L.) in Chile (p. 8). Santiago de Chile: Instituto Forestal. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/263102938_Effect_of_irrigation_in_growth_and_fruit_production_in_stone_pine_Pinus_pinea_L_in_Chile
- Loewe, V. i Delard, C. (2016). *Producción de piñón mediterráneo (Pinus pinea L.)*. Santiago de Chile: Instituto Forestal. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/317342409_Produccion_de_pinon_mediterraneo_Pinus_pinea_L
- Loewe, V. i Delard, C. (2019). Stone pine (*Pinus pinea* L.): an interesting species for agroforestry in Chile. *Agroforestry Systems*, 93, 11. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/286935753_Stone_pine_Pinus_pinea_L_an Interesting_Species_for_Agroforestry_in_Chile

- Loewe, V. i González, M. (2012). Apuntes sobre una gira de estudio sobre el piñón del pino piñonero (*Pinus pinea*) a Italia, España y Portugal. *Ciencia e Investigación Forestal*, 18, 16. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/320259135_Apuntes_Sobre_una_Gira_de_Estudio_Sobre_el_Pinon_del_Pino_Pinonero_Pinus_pinea_a_Italia_Espana_y_Portugal
- Loewe, V. i González, O. M. (2007). *MERCADO DEL FRUTO Y MADERA DEL PINO PIÑONERO*. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/303281202_Pino_pinonero_el_potencial_de_su_madera_y_fruto
- May, J. (1984). *Southern Pine Nursery Handbook*. Atlanta (USA): USDA-Forest Service. Recuperat de <https://rngr.net/publications/spnh/>
- Monteuuis, O. i Barnéoud, C. (1991). Vegetative propagation. In *Genetics of Scots Pine* (pp. 163–170). Amsterdam: Elsevier. Recuperat de https://books.google.es/books?id=MIXgBAAAQBAJpg=PA163ilpg=PA163idq=vegetative+propagation+monteuuisisource=bliots=-PTgGdWjUJisig=ACfU3U3yt9VeFvwRrbfg_RVwbGPA8fCJqQihl=caisa=Xived=2ahUKEwj90Z6BsebpAhW3A2MBHR51AM8Q6AEwAnoECAkQAQ#v=onepageiq=vegetative+prop
- Montoya, J. M. (1990). *El pino piñonero*. Madrid: Ediciones Mundi Prens.
- Morcillo, M., de Paz, E., Vilanova, X., i Sánchez, M. (2017). Viabilidad y rentabilidad de una plantación de pino piñonero (*Pinus pinea*) micorrizado con trufa bianchetto (*Tuber borchii*). *Revista Montes*, 5. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/317402636_Viabilidad_y_rentabilidad_de_una_plantacion_de_pino_pinonero_Pinus_pinea_micorrizado_con_trufa_bianchetto_Tuber_borchii
- Mutke, S., Calama, R., i Gil, L. (2011). El uso del pino piñonero en sistemas agroforestales (p. 34). Valladolid: Jornadas de cultivos alternativos con especies forestales. Recuperat de <http://www.redforesta.com/wp-content/uploads/2011/09/El-uso-del-pino-pinonero-en-sistemas-agroforestales-Francisco-Javier-Gordo-Alonso.pdf>
- Mutke, S., Calama, R., Gordo, J., i Gil, L. (2007). El uso del pino piñonero como especie frutal en sistemas agroforestales de secano. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 22, 6. Recuperat de http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/view/9593
- Mutke, S., Díaz Balteiro, L., i Gordo, J. (2000). Análisis comparativo de la rentabilidad comercial privada de plantaciones de *Pinus pinea* L. en tierras agrarias de la provincia de Valladolid. *Investigación Agraria*, 9, 35. Recuperat de <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2625>
- Mutke, S., González-Martínez, S., Soto, A., Gordo, J., i Gil, L. (2008). El pino piñonero, un pino atípico. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 24, 81–85. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/313202852_El_pino_pinonero_un_pino_atipico
- Mutke, S., Gordo, J., Climent, J., i Gil, L. (2003). Shoot growth and phenology modelling of grafted Stone pine (*Pinus pinea* L.) in Inner Spain. *Annals of Forest Science*, 60, 11. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/41714762_Shoot_growth_and_phenology_modelling_of_grafted_Stone_pine_Pinus_pinea_L_in_Inner_Spain

- Mutke, S., Gordo, J., i Gil, L. (2000). THE STONEPINE (*Pinus pinea* L.) BREEDING PROGRAMME IN CASTILE-LEON (CENTRAL SPAIN). *Nucis-Newsletter*, 9, 6. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/313077465_The_Stone_Pine_Pinus_pinea_L_Breeding_Programme_in_Castile-Leon_Central_Spain
- Mutke, S., Gordo, J., i Gil, L. (2001). *Fenología de Pinus pinea L. en un banco clonal (Valladolid)*. Universidad de Valladolid. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/267373530_FENOLOGIA_DE_Pinus_pinea_L_EN_UN_BANCO_CLONAL_VALLADOLID
- Mutke, S., Gordo, J., i Gil, L. (2005a). Cone Yield Characterization of a Stone Pine (*Pinus pinea* L.) Clone Bank. *Silvae Genetica*, 54, 9. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/290309307_Cone_Yield_Characterization_of_a_Stone_Pine_Pinus_pinea_L_Clone_Bank
- Mutke, S., Gordo, J., i Gil, L. (2005b). Pérdida de producción de producción en los pinares de piñonero como consecuencia del cambio climático. *Foresta*, 32, 5. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/28231490_Perdida_de_produccion_de_pina_en_los_pinares_de_pinonero_como_consecuencia_del_cambio_climatico
- Mutke, S., Gordo, J., i Gil, L. (2005c). Variability of Mediterranean Stone Pine cone production: Yield loss as a response to climate change. *AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY*, 132, 10. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/235407192_Variability_of_Mediterranean_Stone_pine_cone_production_Yield_loss_as_response_to_climate_change
- Mutke, S., Gordo, J., Gil, L., Iglesias, S., Gonzalez, J. B., Plaza, L., Warleta, A., Luengo, J., Calama, R., i Montero, G. (2011). Release of elite clones of Mediterranean stone pine, *Pinus pinea* L., for cone production in grafted plantations (p. 15). Valladolid (Spain). Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/303495782_Release_of_elite_clones_of_Mediterranean_stone_pine_Pinus_pinea_L_for_cone_production_in_grafted_plantations
- Mutke, S., Iglesias, S., i Gil, L. (2007). Selección de clones de pino piñonero sobresalientes en la producción de piña. *Investigación Agraria*, 16, 13. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/28251724_Seleccion_de_clones_de_pino_pinonero_sobresalientes_en_la_produccion_de_pina
- Mutke, S., Pastor, A., i Picardo, A. (2013). Toward a traceability of European pine nuts “from forest to fork.” *OPTIONS Méditerranéennes*, 105, 5. Recuperat de <https://om.ciheam.org/option.php?IDOM=1010>
- Mutke, S., Sada Arias, B., Iglesias Sauce, S., i Gil, L. (2003). Evaluación de la producción individual de piña en un banco clonal de pino piñonero (*Pinus pinea* L.) en Madrid. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 12, 9. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/28061991_Evaluacion_de_la_produccion_individual_de_pina_en_un_banco_clonal_de_pino_pinonero_Pinus_pinea_L_en_Madrid
- Mutke, S., Sievänen, R., Nikinmaa, E., Perttunen, J., i Gil, L. (2005). Crown architecture of grafted Stone pine (*Pinus pinea* L.): shoot growth and bud differentiation. *Trees*, 19, 11. Recuperat de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-004-0346-7>
- Mutke, S., Vendramin, G. G., Fady, B., Bagnoli, F., i González-Martínez, S. (2019). Molecular and Quantitative Genetics of Stone Pine (*Pinus pinea* L.). In D. Nandwani (Ed.), *Genetic Diversity in Horticultural Plants* (pp. 61–84). Springer. Recuperat de http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/ch_3_mutke_et_al_author_accepted_manuscript.pdf

- Nunes da Silva, M., Solla, A., Sampedro, L., Zas, R., i W. Vasconcelos, M. (2015). Susceptibility to the pinewood nematode (PWN) of four pine species involved in potential range expansion across Europe. *Tree Physiology*, 0, 13. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/280587794_Susceptibility_to_the_pinewood_nematode_PWN_of_four_pine_species_involved_in_potential_range_expansion_across_Europe
- Paoletti, E. (2005). UV-B and Mediterranean forest species: Direct effects and ecological consequences. *Environmental Pollution*, 137, 8. Recuperat de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16005751/>
- Parlak, S., Kilci, M., Sayman, M., Akass, M. E., Bucak, C., i Boza, Z. (2013). Climate factors and their relation regarding cone yield of stone pine (*Pinus pinea* L.) in the Kozak Basin, Turkey. *OPTIONS Méditerranéennes*, 105, 5. Recuperat de <https://om.ciheam.org/option.php?IDOM=1010>
- Parra, J. L. (1980). Creación de huertos semilleros de pino carrasco e injertos de pino piñonero sobre carrasco en la provincia de Murcia. *Boletín de La Estación Central de Ecología* 9, 18, 15–23.
- Pavari, A. (1959). *Scritti di Ecologia, selvicoltura e botanica forestale*. Firenze (Italia).
- Piqué, M. (2009). *Silvicultura del pi pinyer per a producció de fusta i pinya*. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/264536506_Silvicultura_del_pi_pinyer_per_a_produccio_de_fusta_i_pinya
- Piqué, M., Ammari, Y., Solano, D., Aletà, N., Bono, D., Sghaier, T., Garchi, S., Coello, J., Coll, L., i Mutke, S. (2013). Production and management of stone pine (*Pinus pinea*) for early nut production: grafted plantations as an alternative for restoring degraded areas and generating income in rural communities of Tunisia. *OPTIONS Méditerranéennes*, 105, 5. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/236694049_Production_and_management_of_stone_pine_Pinus_pinea_for_early_nut_production_grafted_plantations_as_an_alternative_for_restoring_degraded_areas_and_generating_income_in_rural_communities_of_Tunisia
- Prada, M. A., Gordo, J., De Miguel, J., Mutke, S., Catalán, G., Iglesias, S., i Gil, L. (1997). *Las regiones de procedencia de Pinus pinea L. en España*. Madrid: Organismo Autónomo de Parques Naturales. Recuperat de <http://sostenible.palencia.uva.es/content/las-regiones-de-procedencia-de-pinus-pinea-l-en-espana>
- Quiróz, I., García, E., González, M., Chung, P., i Soto, H. (2011). *Producción de plantas nativas de raíz cubierta* (2a ed.). Instituto Forestal. Recuperat de <https://ctpf.infor.cl/index.php/publicaciones/60-vivero-forestal-produccion-de-plantas-nativas-a-raiz-cubierta>
- RuralCat. (2020). Recuperat de <https://ruralcat.gencat.cat/web/guest/agrometeo.estacions>
- Sada, B., Iglesias, S., i Gil, L. (2000). Estudio de producción en un banco clonal de *Pinus pinea* de procedencia Cataluña Litoral para la selección de grandes productores de fruto. *Actas Primer Simposio Del Pino Piñonero (Pinus Pinea L.)*, 2, 65–73.
- Sánchez-Gómez, D., Cano, F., Cervera, M., i Aranda, I. (2009). Variabilidad fenotípica en respuesta al estrés hídrico en una especie forestal genéticamente homogénea: *Pinus pinea* L. V Congreso Forestal Español, 2/7-7/7. Recuperat de http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/169

15/16755

- Sanfilippo, J. B. (2020). Fisher nuts. Recuperat de <https://fishernuts.com/recipes/salads/cabbage-and-pine-nut-salad>
- Saxe, H., Cannell, M. G. R., Johnsen, O., Ryan, M. G., i Vourlitis, G. (2001). Tree and forest functioning in response to global warming. *New Phytologist*, 149, 369–400. Recuperat de <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1469-8137.2001.00057.x>
- Segura, R., Javierre, C., Lizarraga, M., i Ros, E. (2006). Other Relevant Components of Nuts: Phytosterols, Folate and Minerals. *The British Journal of Nutrition*, 96, S36–S44. Recuperat de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17125532/>
- Tamburini, M., Maresi, G., Salvadori, C., Battisti, A., Zottele, F., i Pedrazzoli, F. (2012). Adaptation of the invasive western conifer seed bug *Leptoglossus occidentalis* to Trentino, an alpine region (Italy). *Bulletin of Insectology*, 65, 161–170. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/233100158_Adaptation_of_the_invasive_western_conifer_seed_bug_Leptoglossus_occidentalis_to_Trentino_an_alpine_region_Italy
- The Greenss Shop company. (2020). Recuperat de https://thegreensshop.com/tienda/index.php?id_product=395icontroller=productiid_lang=3
- The Original Garden. (2020). Recupeat de <https://theoriginalgarden.com/p/seeds/fruit-plants/plants-nuts/pinus-pinea-stone-pine>
- Valdivieso, T., Pimpão, M., Trindade, C. S., i Varela, M. C. (2017). Reproductive phenology of *Pinus pinea*. *OPTIONS Méditerranéennes*, 122, 63–68. Recuperat de https://www.researchgate.net/figure/Stone-pine-reproductive-phenological-model_fig5_320383148
- Van den Berk Viveros. (2020). Recuperat de <https://www.vdberk.es/arboles/pinus-pinea/>
- White, R. W. i Fisher, J. T. (1985). Seasonal Evapotranspiration, growth and water use efficiency by plantation grown *Pinus eldarica* Medw. derived from field and weighing lysimeter studies. *WRRRI Report*, 193, 54.
- Wright, S. J., Carrasco, C., Calderón, O., i Paton, S. (1999). The El Niño Southern Oscillation, variable fruit production, and famine in a tropical forest. *Ecology*, 80, 1632–1647. Recuperat de https://www.researchgate.net/publication/202001814_The_El_Nino_Southern_Oscillation_Variable_Fruit_Production_and_Famine_in_a_Tropical_Forest